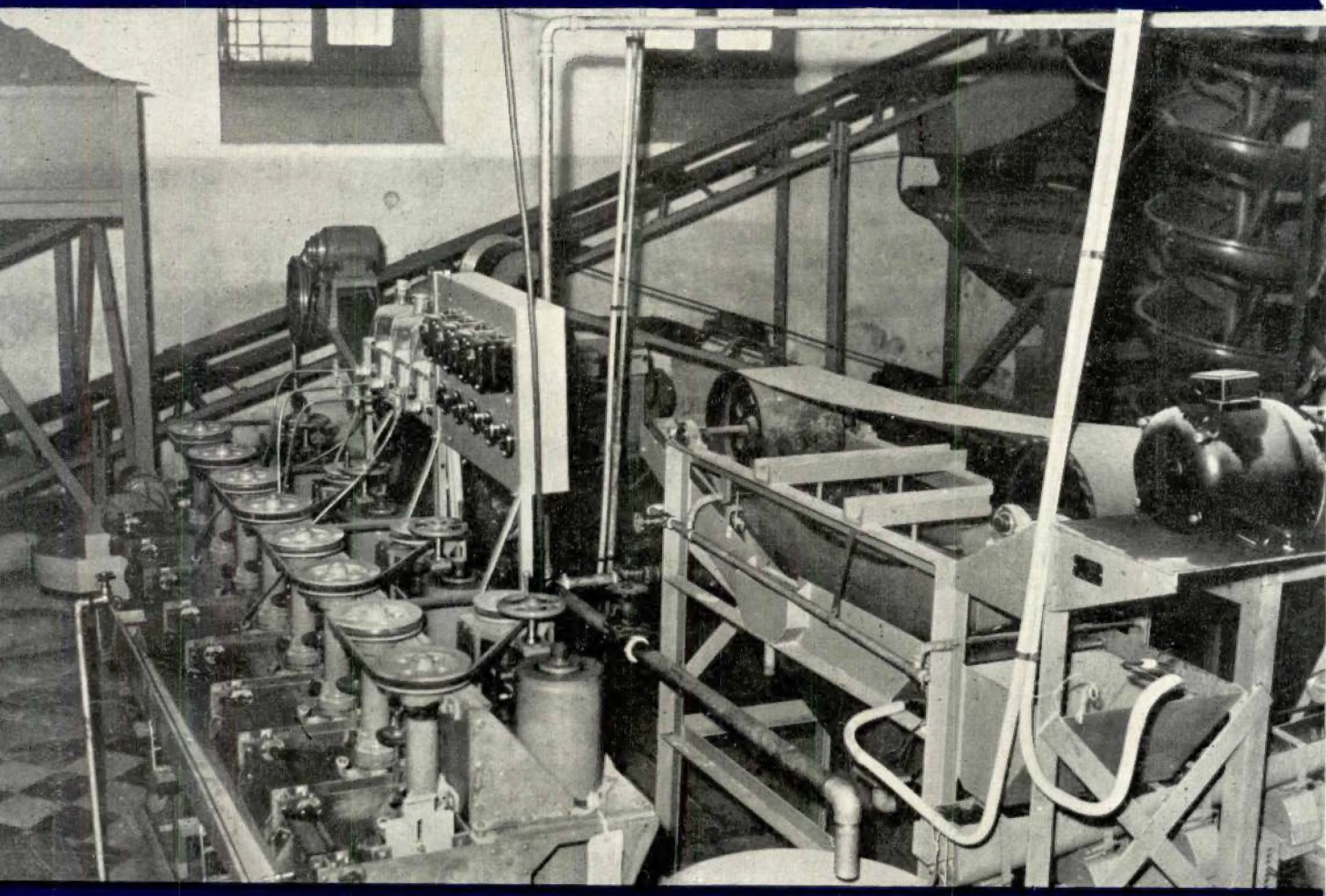
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO I.S.T.

N.º 294 – JULHO – 1959

CIMENTO SECIL

Fábrica:

Outão – Setúbal

Telef. 028824/5

Escritório:

R. do Comércio, 56-3.º

LISBOA 2

Telef. 28201/2/3

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA —— AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 683649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 – TEL 21277

MARS-LUMOGRAPH

Lembre-se das cópias heliográficas!

Se a cópia demonstra impecável nitidez, depende do material de desenho utilizado no original.

Em todo o mundo os engenheiros e arquitectos apreciam no material moderno de desenho MARS-LUMOGRAPH ao lado das suas múltiplas vantagens, especialmente a sua propriedade heliográfica. Nós temos ao dispor o material de desenho MARS-LUMOGRAPH em 19 graduações como minas, lapiseiras e lápis de desenho. As lapiseiras de desenho MARS-LUMOGRAPH já famosas fornecem-se com afia-minas próprio situado no botão de pressão.

STAEDTLER

PAPELARIA FERNANDES
S. A. R. L.
Rua do Ouro, 145/149 — Largo do Rato, 13
LISBOA

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXXIV - N.º 294 Julho de 1959

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I.S.T. * LISBOA-N. * TELEF. 77 01 44 (Linha 50)

DIRECTOR
JOSÉ J. DELGADO DOMINGOS

ADMINISTRADOR
ALEXANDRE CERVEIRA

SECRETARIO
JORGE GONÇALVES CALADO

REDACTORES
ALBERTO ANTÓNIO JUSTINIANO
JOSÉ MANUEL TEIXEIRA DOS SANTOS
JOSÉ FERNANDO PINHARANDA
JOSÉ LUÍS CÂNCIO MARTINS
VÍTOR GRAVETO

NUMERO AVULSO 12$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	32$50	50$00	95$00
Ultramar Português e Espanha	—	55$00	100$00
Estrangeiro	—	80$00	110$00

EDITOR E PROPRIETÁRIO
ASS. DOS ESTUD. DO I.S.T.

COMPOSTO E IMPRESSO NA
Tip. JORGE FERNANDES, L.DA
RUA CRUZ DOS POIAIS, 103
LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Laboratório de Tratamento de Minérios do I. S. T. Lavaria-piloto.

Págs.

O Laboratório de tratamento de minérios do Instituto Superior Técnico
Pelo Eng.º José Quintino Rogado 607

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e consumo de energia na rede eléctrica nacional** 618

Determinação de tensões de origem térmica de barragens-abóbada por meio de modelos
Pelos Eng.os Manuel Rocha, J. Laginha Serafim 619

Determinação das características estáticas dos transistores
Pelo Eng.º José Mariano Jervis Pereira 641

A segurança nas minas de urânio portuguesas
Pelo Eng.º Claudino Martins Vicente 645

Radioactivity applied analytical chemistry
Pelo Dr. Hans Götte 654

Mundo Técnico 663

Biblioteca 665

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SÃO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A — Pág.

António Pacheco Agostinho XXX
Atlantic — Fábrica Lusitana de Tintas e Vernizes, Limitada XXXI

C

Centrozap XXI
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia de Cimentos Brancos . . XI
Companhia Portuguesa de Fornos Eléctricos XIV
Companhia União Fabril XVI
Construções Técnicas, Ltd.ª X
C. Santos, Ltd.ª . . . . . VI e XXIX

E

Edmond Dardel II
Electro-Arco, Ltd.ª . . . . . 2.ª da capa
Elektrim XXVII
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª XVII
Empresa Electro Cerâmica XI
Empresa de Fundações Capblanch, Lda. XXIV
Empresa Nacional de Aparelhagem Eléctrica XXII
Empresa de Produtos Asfálticos . . . VII
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Empresa Técnica de Equipamentos Eléctricos XII
Eng.º Augusto Cavaco XXXIII

F

Fábrica Portugal XXXIV
Facto, Lda. XXVI
Fanafel XXXV
Filtrol, Lda. XXIII

H

Harker Sumner & C.ª, Ltd. XXXIII
Henriques & Castro, Ltd.ª X

I

IST XXXIII

J — Pág.

Jayme da Costa, Lda XXV

L

Leacock (Lisboa), Ltd.ª XIII

M

MAN XX
Máquinas de Precisão, Ltd.ª XXXII
Monteiro Gomes, Ltd.ª . . . . VIII e XXXVI

P

Papelaria Fernandes . . . . . 2.ª da capa
Pimentel & Casquilho, Ltd.ª III

S

Sabal, Ltd. XXXV
S. E. Moniz da Maia & Vaz Guedes, L.da XV
SMEIA IV
Sociedade Comercial de Isolamentos de Cortiça, Lda. XXIV
Sociedade Construtora Portuguesa, Ltd.ª I
Sociedade Fabril de Matérias Plásticas XVIII
Sociedade Portuguesa Cavan V
Socotel V
Sonap XXVIII
Sondagens Ródio, Ltd.ª XXXV
Standard Eléctrica IX

T

T. A. S. XXIII

U

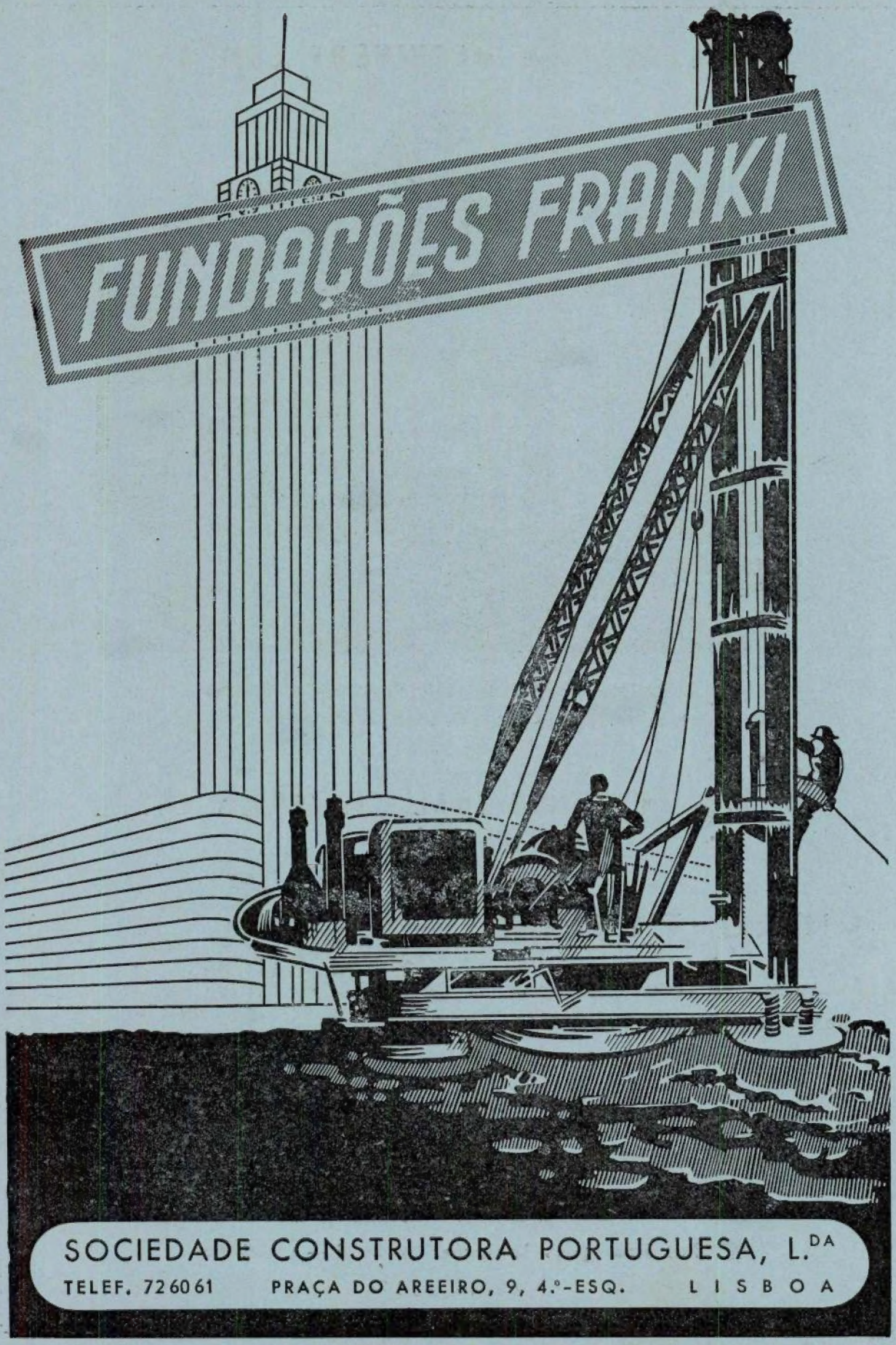
Universal XXXV

V

Vitrofib XXIV

W

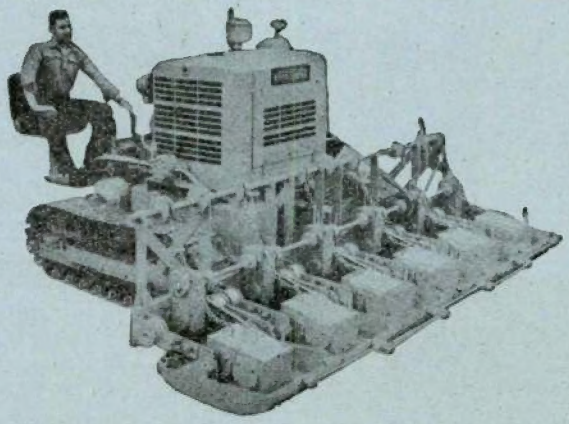
Wild Portugal, Lda. XIX


FUNDAÇÕES FRANKI
SOCIEDADE CONSTRUTORA PORTUGUESA, L.DA
TELEF. 726061
PRAÇA DO AREEIRO, 9, 4.º-ESQ.
LISBOA

CONSTRUCTION MACHINERY COMPANY

Betoneiras C. M. C. montadas sobre camions, para construção de estradas, aeroportos, etc.

THE INTERNATIONAL VIBRATION CO.



VIBRO-TAMPER

Compactador de sapatas vibratórias. Máxima compactação num mínimo de tempo

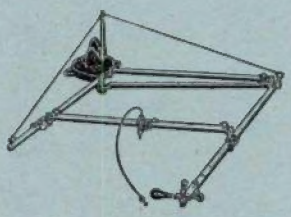
Agente exclusivo:

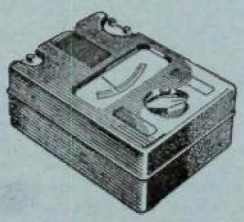
Edmond Dardel

Rua Rodrigues Sampaio, 19-4.º B — LISBOA

Telefone 42289

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA





GRANDE SORTIDO
DE INSTRUMENTOS DE
PRECISÃO, CIENTÍFICOS
E INDUSTRIAIS

PARA

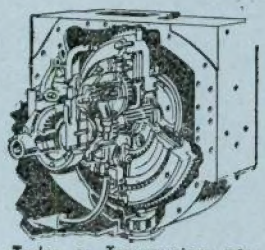
ENGENHEIROS
ARQUITECTOS
CONSTRUTORES
TOPÓGRAFOS
DESENHADORES
LABORATÓRIOS
ESCOLAS
OFICINAS

RUA DAS PORTAS DE SANTO ANTÃO, 75
LISBOA
TELEF.: 24314 • TELEG.: TECNA

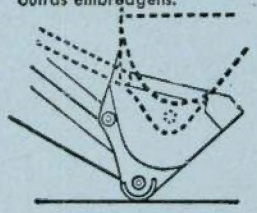
Escolha o TRAXCAVATOR que faça o seu serviço de escavação e carregamento

Três tamanhos, de 0,76 m³ a 1,72 m³.

QUAL é o equipamento de escavação e carregamento que melhor se ajusta ao tipo de seu trabalho? V. tem à sua escolha três tamanhos de Traxcavator Diesel Caterpillar, de 0,76 m³ a 1,72 m³! Os Traxcavators foram projetados e são fabricados para fazer o serviço de carregamento — não são tratores equipados com acessório para fazer o carregamento. Compare as caraterísticas do Traxcavator, e procure-nos. Temos a maior satisfação em ajudá-lo a escolher o Traxcavator que melhor se adapta ao seu trabalho.



Todos os Traxcavators possuem **embreagem a óleo** que chegam a durar até 5 vêzes mais tempo do que as outras embreagens.



Caçamba de retôrno de 40° possue ação de alavanca — garante cargas coroadas.

Filtros de fluxo inte al, de fácil substituição, rem em do óleo todos os elem tos abrasivos.

Especificações

Modêlo Nº	Traxcavators 933	955	977
Potência (no volante)	50	70	100
Capacidade, em m³	0,765	1,15	1,72

CATERPILLAR

Caterpillar e Cat são Marcas Registradas de Caterpillar Tractor Co., dos E.U.A.

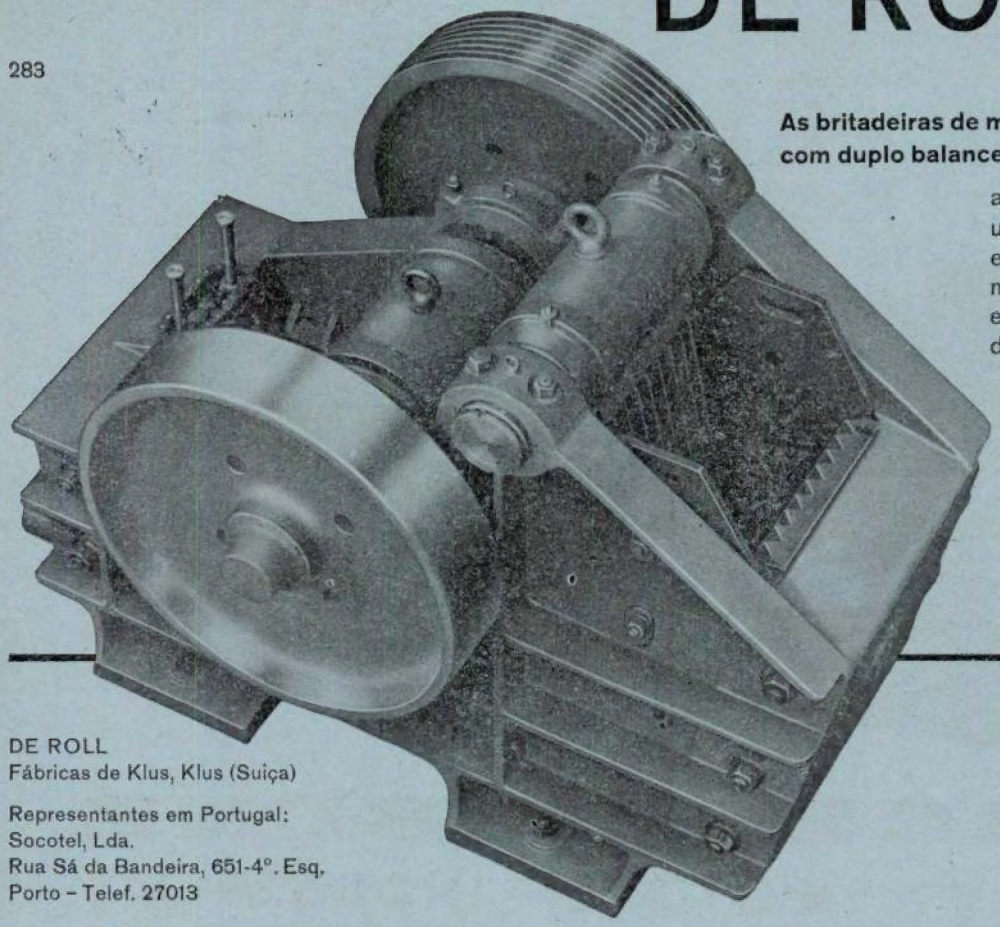
Sociedade de Mecanização Industrial e Agrícola
S. A. R. L.
Av. P. Manuel da Nóbrega, 8 B LISBOA Tel. 724053-4-5

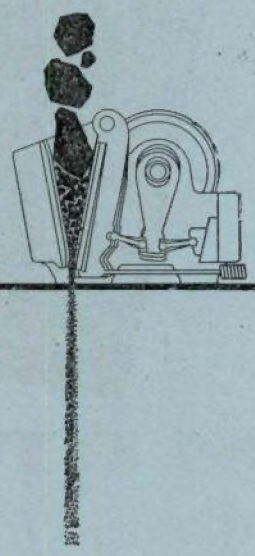
SMEIA

DE ROLL

As britadeiras de maxilas DE ROLL, com duplo balanceiro e rodamentos oscillantes

apresentam
um maior número de rotações
e, por conseguinte,
maior quantidade horária de material
e aumento da percentagem
de grãos cúbicos





DE ROLL
Fábricas de Klus, Klus (Suiça)

Representantes em Portugal:
Socotel, Lda.
Rua Sá da Bandeira, 651-4°. Esq.
Porto - Telef. 27013

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

✸

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS

MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

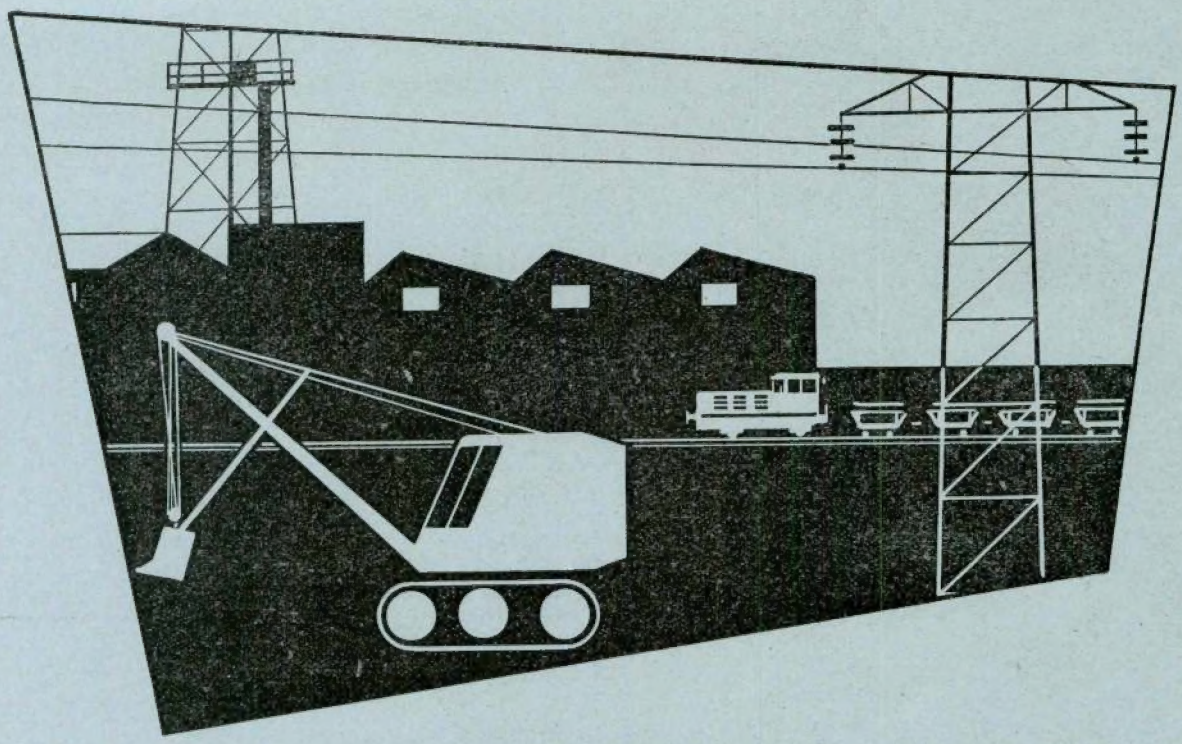
MANILHAS PARA ESGOTOS

✸

RUA D. ESTEFÂNIA, 42

TELEF. 47812-50129

LISBOA



MERCEDES-BENZ

MOTORES INDUSTRIAIS DIESEL

MOTORES PARA TODAS AS APLICAÇÕES INDUSTRIAIS
FAMOSOS EM TODO O MUNDO PELA SUA GRANDE ROBUSTÊS, ECONOMIA
DE CONSUMO E FACILIDADE DE MANUTENÇÃO
MODELOS DESDE 15 A 2.500 H. P.

EM ARMAZÉM:

MODELO M B 841 B	25 H. P. — 1.000 R. P. M.
MODELO M 202 B	55 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 203 B	90 H. P. — 1.200 R. P. M.
MODELO M 204 B	120 H. P. — 1.200 R. P. M.

OUTROS MODELOS PARA ENTREGA MUITO RÁPIDA

MOTORES A 4 TEMPOS · ARREFECIMENTO POR ÁGUA
ARRANQUE A AR COMPRIMIDO OU ELÉCTRICO

REPRESENTANTES **C. SANTOS LDA.** — DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

29, AV. DA LIBERDADE, 41 — LISBOA
160, R. DE S.TA CATARINA, 168 — PORTO

Celulite

ISOLAMENTO TÉRMICO DAS CONSTRUÇÕES

PAVIMENTOS

*

TECTOS

*

PAREDES

*

CÂMARAS FRIGORÍFICAS

*

ISOLAMENTOS INDUSTRIAIS

Terraços e pavimentos isolados com CELULITE no edifício da Comp.ª de Seguros Fidelidade — P. das Águas Livres — Lisboa

SETH, LDA. ✦ RUA FILIPE FOLQUE, 10-1.º ✦ TEL. 73 01 56 — LISBOA

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA

TELEF. 73 0156 TELEG. EPALDA — LISBOA

FÁBRICA EM SACAVÉM

ESCAVADORAS E SONDAS

RUSTON BUCYRUS, LTD.

E

BUCYRUS-ERIE & CO.

125 unidades vendidas em Portugal e no Ultramar

ESCAVADORAS — montadas em lagartas e em camião
capacidade de 3/8 a 36 jardas cúbicas

SONDAS para furos até a profundidade de 475 metros

Stock permanente de peças sobressalentes
Oficina de reparações
Técnicos e mecânicos especialisados
Ensino e treino de operadores

Representantes exclusivos para Portugal e Ultramar

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

Rua Cascais, 47 (Alcântara)

LISBOA ✦ LUANDA ✦ LOURENÇO MARQUES

Standard Electrica S.A.R.L.

Associada da

INTERNATIONAL TELEPHONE AND TELEGRAPH CORPORATION

DE NOVA YORK

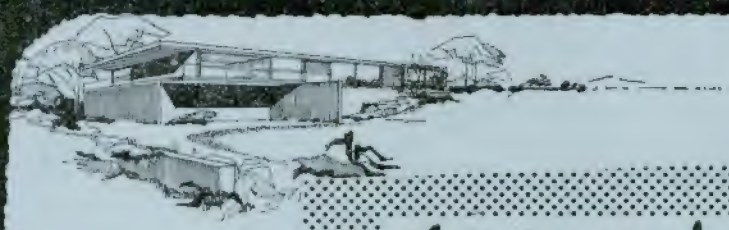
TELECOMUNICAÇÕES

ELECTRÓNICA

AV. DA INDIA — LISBOA

CEMPEXO

tinta hidrófuga e petrificante à base de cimento



A tinta que dura

Pintura ideal para paredes de prédios e outras estruturas.

Cores atraentes, fixas e duradouras.

Usa-se sôbre rebocos, tijolos, betão, fibrocemento, pedra natural, etc.

DANSK CEMENT CENTRAL

DISTRIBUIDORES EM PORTUGAL

HENRIQUES & CASTRO, Lda.

AVENIDA CONDE DE VALBOM, 96 LISBOA

TELEF. 77 50 57 - 77 50 58

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, L.DA

PRAÇA DO MUNICÍPIO, 13, 3.º

LISBOA

Telefs. 2 2344 / 2 7809

Máquina "BENOTO" executando estacas de 1 m de diâmetro e 60 m de comprimento, nas fundações do viaduto de Sacavém, na auto-estrada do Vale do Tejo

Fundações

Construções Civis e Industriais

Betão Armado e Betão Pré-esforçado

Obras Públicas

Concessionária do sistema de moldes deslizantes «PROMETO» e do sistema para execução de estacas de grande diâmetro «BENOTO»

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 2 0464 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

EMPRESA ELECTRO CERÂMICA — S. A. R. L.

Candal — Gaia

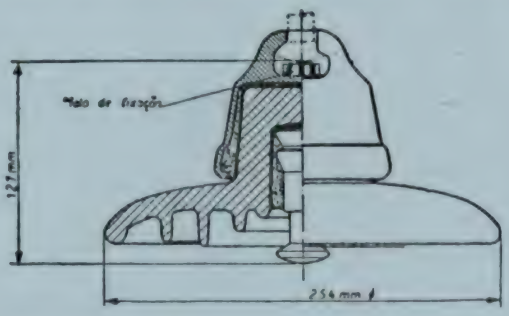
ISOLADORES DE CADEIA

Para suspensão

Tipo ACS 25

Este isolador é igual ao tipo I. B. S. 99 da firma inglesa Taylor Tunnicliff & Co., Ltd., por acordo com a qual o fabricamos

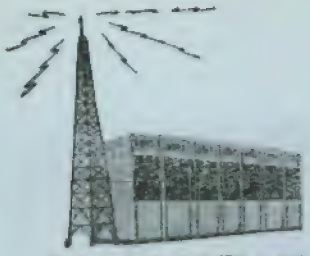
Peso aproximado:
4,5 kg cada elemento



Materiais

Porcelana vidrada em castanho.
Campânulas de ferro fundido maleável, galvanizadas por imersão a quente.
Hastes de aço macio galvanizadas por imersão a quente.
Molas de fixação de bronze fosforoso.

Sede — Largo Barão de Quintela, 3 — LISBOA

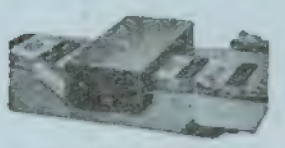


Emissores de AM TV e FM

Comunicações Móveis

Radares de Bordo

Sistemas de Amplificação de Som



Detectores de metais

Equipamentos para a Marinha

Inspecções Automáticas para Bebidas

Comunicações Radiotelefónicas

Equipamento de Televisão

Comunicações por Microondas

Equip. para Cinema, 16 e 35 mm

Em electrónica, a RCA garante o máximo de rendimento e a mais moderna concepção

O equipamento electrónico RCA deu em todo o mundo as suas provas de eficácia de segurança de funcionamento e de economia de exploração. Os produtos da RCA abrangem todo o ramo da electrónica.

EMISSORES DE RÁDIO

Equipamento para estúdios, emissão e antenas.

EMISSORES DE TELEVISÃO

Sistemas a cores e preto e branco para estúdios, emissão, antenas e relés.

TELEVISÃO EM CIRCUITO FECHADO

Sistemas a cores e preto e branco para fins educacionais, indústria, comércio e medicina.

EQUIPAMENTO DE MEDIDA

Para reparação, emissão e laboratório.

COMUNICAÇÕES

Em alta frequência, entre pontos fixos, por micro-ondas e móveis. Emissores, receptores e acessórios.

SISTEMAS DE COMUNICAÇÕES

Planeamento e montagem, desde o simples intercomunicador ao complexo feixe hertziano, de múltiplos canais completamente automatizado.

LÂMPADAS DE RÁDIO E TRANSISTORES

Lâmpadas de recepção, industriais e de potência. Cinescópios e transistores.

MARINHA

Equipamentos de radar, comunicações e navegação.

SOM

Sistemas de som e acessórios.

CINEMA

Equipamento de captação de som e gravação.

Projectores de 35 e 16 mm (som óptico e magnético).

AVIAÇÃO

Radares de bordo e ajudas à navegação.

CIÊNCIA E INDÚSTRIA

Detectores de partículas metálicas, verificadores de bebidas, microscópios electrónicos, aparelhos electrónicos de treino e «Bizmac» (calculador comercial electrónico).

APARELHAGEM ELECTRO DOMÉSTICA

Fonógrafos de alta fidelidade, receptores de rádio e televisão, gravadores em fita magnética, discos, frigoríficos e condicionadores de ar.

Gostaríamos de fornecer informações detalhadas relativas às aplicações, produtos e serviços. Para conseguir documentação ou ajuda pessoal dirija-se ao distribuidor em Portugal.

AGÊNCIA GERAL

EMPRESA TECNICA DE EQUIPAMENTOS ELÉCTRICOS, S. A. R. L.

CAPITAL ESC. 8.000.000$00

Sede: Rua Rodrigo da Fonseca, 105 — LISBOA — Apartado 2531
Tel. PPC (3 linhas) 686072 e Est. 396 - End. Teleg. "Telectra" Lisboa-Porto
Filial no Porto: Rua dos Clérigos, 64 - 2.º — Telefone 2 48 19

LEACOCK (LISBOA), L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

REPRESENTANTES DE:

THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.

Material de fixação para construção civil e mecânica.

HOOVER, LTD.

Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

J. A. CRABTREE & CO. LTD.

Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.

Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.

Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.

Máquinas para bobinar e enfitar.

GEORGE KENT

Contadores de água, de vapor e de óleo.

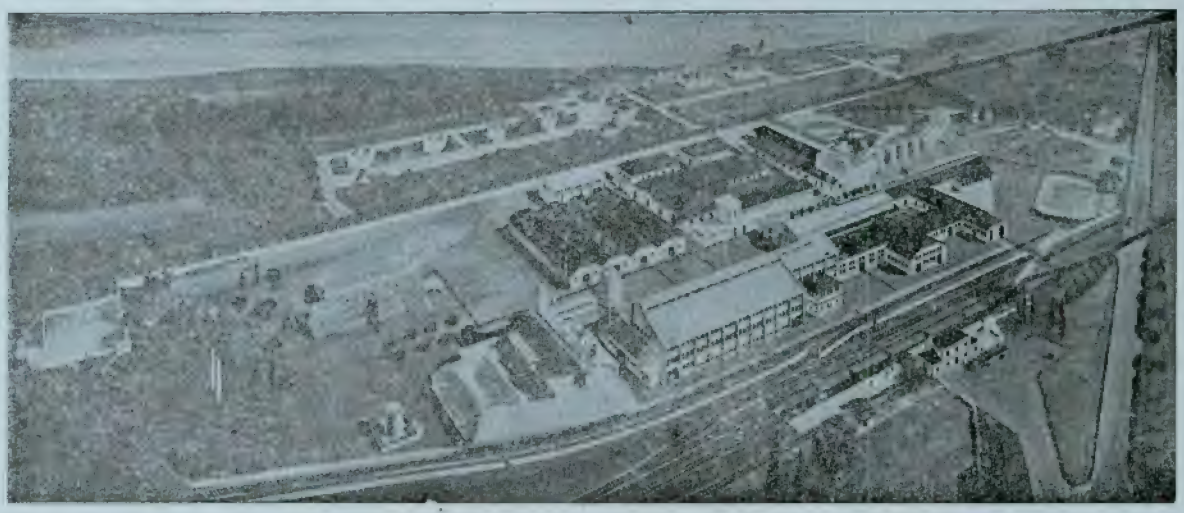
Tubos Venturi

Determinadores e controladores do pH, do CO_2 e pirómetros pelo processo potenciométrico.

Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.

Luz fluorescente.



COMPANHIA PORTUGUESA DE FORNOS ELÉCTRICOS

PRODUTORA DE

FERRO GUSA

FERRO LIGAS

FERRO-MANGANÊS

SÍLICO-MANGANÊS

FERRO-SILÍCIOS

15 % - 25 % - 45 % - 75 % - 90 %

CARBONETO DE CÁLCIO

CIANAMIDA CÁLCICA

PASTA PARA ELÉCTRODOS

E EM MONTAGEM

GRAFITE

FÁBRICAS
CANAS DE SENHORIM
Telefone 67222

SEDE
Largo de S. Carlos, 4-2.º — LISBOA
Telefones 25343-29608-368989

Previnem-se os nossos assinantes e anunciantes que a Revista suspende, como de costume, a sua publicação durante os meses de férias.

TÉCNICA

DIRECTOR: JOSÉ J. DELGADO DOMINGOS
ADMINISTRADOR: ALEXANDRE CERVEIRA
SECRETÁRIO: JORGE GONÇALVES CALADO

Ano XXXIV - N.º 294 Julho de 1959

C. D. U. 622.7 [378.962] (4694)

O LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

PELO ENG.º DE MINAS (I.S.T.) JOSÉ QUINTINO ROGADO
Bolseiro do I. A. C.
na C. E. E. N.

1 — INTRODUÇÃO

Em 1947 pareceu-nos de grande utilidade criar, no Instituto Superior Técnico, um laboratório onde as aulas práticas da cadeira de Preparação de Minérios decorressem e ao qual as empresas privadas ou os serviços públicos pudessem recorrer.

Felizmente encontrámos, por parte da Direcção do Instituto Superior Técnico, o apoio necessário para levar a bom termo até fins de 1949 a montagem da primeira fase do laboratório.

O Professor Eng.º João Carlos de Adrião Sequeira, então Director Interino do I. S. T., pelas verbas que conseguiu obter e o Professor Eng.º Pedro Amor Monteiro de Barros pelos valiosos conselhos dados e a orientação que imprimiu aos nossos projectos são os verdadeiros responsáveis pela criação daquele núcleo primitivo do actual laboratório.

Em 1954, quando no âmbito do Centro de Mineralogia e Geologia da C. E. E. N., se decidiu organizar a Secção de Preparação de Minérios, o Professor Doutor João Carrintgon da Costa, Director do Centro, concordou em que se aproveitasse o pequeno laboratório do I. S. T., ampliando-o e beneficiando-o de molde a poder cumprir as funções que, como laboratório do Centro, lhe competiam, isto é, estudar a concentração física dos minérios radioactivos e afins e preparar técnicos aptos a ulteriormente desenvolver ou aplicar aquele campo da preparação física. Simultâneamente o laboratório serviria também os outros centros da C. E. E. N. na medida em que deveria ficar apto a preparar amostras destinadas a ensaios químicos e físicos.

Dentro desta orientação se iniciou, naquele ano, o apetrechamento e ampliação do laboratório, o qual tem continuado até à data.

Ao mesmo tempo houve que dotar o laboratório com o pessoal suficiente para a condução dos ensaios e a realização dos estudos. Neste capítulo têm surgido dificuldades de vária ordem.

Com efeito, o laboratório do I. S. T. com funções pedagógicas (1), destinado também a ensaios de rotina, preparado para a investigação da aplicação da preparação física aos minérios radioactivos e pretendendo aperfeiçoar técnicos, exige pessoal de tipos diferentes a saber:

(i) pessoal docente
(ii) pessoal permanente para ensaios de rotina e investigação
(iv) bolseiros de permanência relativamente curta
(v) pessoal auxiliar permanente.

Ora o pessoal docente, que, em qualquer caso, terá de ser o disponível no I. S. T., tem-se

(1) Que rigorosamente deverão incluir a investigação de base.

limitado ao assistente encarregado da regência da cadeira de Preparação de Minérios; para os ensaios de rotina não tem havido pessoal diferenciado; a investigação, que tem principalmente incidido sobre a concentração física dos minérios metropolitanos de urânio, tem sido realizada por diversos bolseiros do I. A. C.; e como pessoal auxiliar o Centro de Mineralogia e Geologia dispõe de um mecânico preparador e de um ajudante que têm sido de incalculável valor no dia-a-dia da actividade do laboratório, tanto mais que não foi ainda possível destinar um empregado menor do quadro do I. S. T. ao serviço exclusivo daquele, como seria para desejar.

Os bolseiros têm sido quase exclusivamente recrutados entre os alunos dos dois últimos anos do curso de Engenharia de Minas do I. S. T., porque só a partir do quinto ano se inicia, nesse curso, o estudo da Preparação de Minérios. Assim, quatro actuais engenheiros de minas puderam aperfeiçoar-se naquela disciplina prestando serviço no laboratório, enquanto estudantes, e três outros se formarão este ano com cerca de um ano de trabalho laboratorial.

Quer dizer, afora outros, o laboratório, na actividade mantida pela C. E. E. N., tem tido o mérito de haver facultado, a um grupo já numeroso de engenheiros, formação prática mais completa do que era habitual. Contudo, do ponto de vista das outras tarefas que competem ao laboratório efectuar, verifica-se que a utilização de bolseiros ainda estudantes não se coaduna com certas exigências que lhe são inerentes. Na verdade, o bolseiro estudante não pode dispensar ao laboratório o tempo necessário para completar convenientemente a sua formação teórica, para se dedicar intensivamente à investigação ou mesmo para se apossar dos métodos de rotina tão necessários na solução dos problemas, especialmente dos postos pela indústria privada. Além disso, uma vez terminado o curso assalta-o o natural desejo de, empregando-se na indústria ou serviço público da especialidade, auferir maior remuneração ou até mesmo de ver simplesmente o que se passa do *outro lado de lá.*

Temos por isso procurado, embora muito limitados pelas disponibilidades orçamentais, atrair ao laboratório engenheiros já com experiência industrial que, acumulando com a função de assistentes no I. S. T., possam encarar o trabalho laboratorial com mais continuidade e maiores vagares, o que conseguimos num caso, de há dois anos para cá.

Pensamos que, uma vez dotada com professor a cadeira de Preparação de Minérios, além daquele, pelo menos, um assistente poderá e convirá que, na qualidade de bolseiro do I. A. C., dedique ao centro boa parte da sua actividade na Escola.

Conclui-se pois que o laboratório carece da estruturação de um quadro permanente de pessoal que lhe garanta a continuidade na colaboração e o aperfeiçoamento incessante nas técnicas que utiliza.

A actividade do Laboratório, dentro do quadro que traçamos, traduz-se por numerosos ensaios de investigação da concentração física dos minérios radioactivos e afins e também em trabalhos de rotina para entidades privadas, das quais apresentamos à frente lista parcial.

Sòmente, durante este último ano lectivo, foi possível encarregar um bolseiro de um trabalho relacionado com a investigação de base que esperamos seja levado a bom termo.

Foi no domínio da investigação das técnicas de concentração no campo dos minérios rádioactivos, nomeadamente dos minérios de urânio, que como não podia deixar de ser, mais intensamente se trabalhou no laboratório. Graças aos trabalhos realizados podemos hoje aconselhar, para a maioria dos minérios metropolitanos, os processos mais apropriados, embora em alguns casos, nos limitemos, por enquanto à exclusão de umas tantas técnicas. Todavia, já no próximo ano poderão ser ensaiados na lavaria-piloto, que à frente referimos, a maioria dos minérios cujos ensaios preliminares de concentração foram favoráveis.

Simultâneamente, o laboratório dentro da sua actividade para a C. E. E. N., tem mantido contacto com a actividade estrangeira no domínio da Preparação de Minérios, graças à colaboração (1) que deu ao Simposium de Preparação Física dos Minérios de Urânio, realizado em Lisboa em 1957 por iniciativa da Sociedade Europeia de Energia Atómica, e às visitas ou estágios que alguns dos seus colaboradores tem efectuado fora do País.

---

(1) Laboratory Flotation Tests on Secondary Uranium Portuguese Ores; J. Rogado.

Resumindo, pode dizer-se que o Laboratório de Tratamento de Minérios do I. S. T.:

(i) realizou dentro do âmbito da Escola a tarefa salutar de objectivar e completar os estudos da Preparação de Minérios, contribuindo eficazmente para melhorar a formação dos engenheiros de minas nela cursados.

(ii) no campo da preparação física dos minérios de urânio de Portugal continental, esclareceu consideràvelmente certos aspectos e forneceu elementos de escolha das técnicas porventura a utilizar.

(iii) na sua actividade de apoio à indústria privada, levou a bom termo uma série de ensaios que vieram orientar resoluções a tomar.

(iv) no respeitante à colaboração com os Centros do C. E. E. N., nomeadamente com o Centro de Química, facilitou os estudos que aí se fizeram ou fazem, fornecendo numerosas amostras nas condições requeridas e pondo à disposição a sua oficina de serralharia para reparações e fabricos.

Cremos que, obtidos estes resultados com os escassos meios de que, apesar de tudo (1), sempre dispôs, o Laboratório veio mostrar a sua real utilidade e impor a sua coerente estruturação de modo a adaptar-se mais convenientemente às multiformes funções a que se destina. Assim sendo, há uma fórmula para sintetizar tudo quanto apontamos, é dizer que o Laboratório atravessa uma crise de crescimento. Pensamos por isso, que era agora oportuno voltar a referi-lo, passados mais de dez anos sobre a nossa breve notícia original (2).

2 — O LABORATÓRIO ACTUAL

Para efeitos de rotina é costume considerar no laboratório sete secções. Assim o faremos também nesta descrição. A planta anexa elucida sobre a localização da aparelhagem respectiva.

(1) Queremos aqui significar o nosso reconhecimento ao Prof. Dr. J. Carrington da Costa pela confiança com que nos tem honrado e pelas facilidades orçamentais que tem obtido e que tornaram possível o desenvolvimento do laboratório.

(2) Notícia sobre o Laboratório de Tratamento de Minérios do Instituto Superior Técnico. «Técnica» n.º 188, p. p. 157 — 160, Jan. 1949 — J. Rogado.

2.1 — *Secção de preparação de amostras* (V. Figuras 1 e 2)

Trata-se da secção imprescindível ao Laboratório.

Com efeito, recebidos os especimes sobre os quais serão realizados os ensaios, há em geral, que colher dois tipos de amostras. Amostras destinadas a controlo e amostras a serem utilizadas nos ensaios.

As primeiras, quando destinadas ao controlo químico, que representam o caso mais frequente,

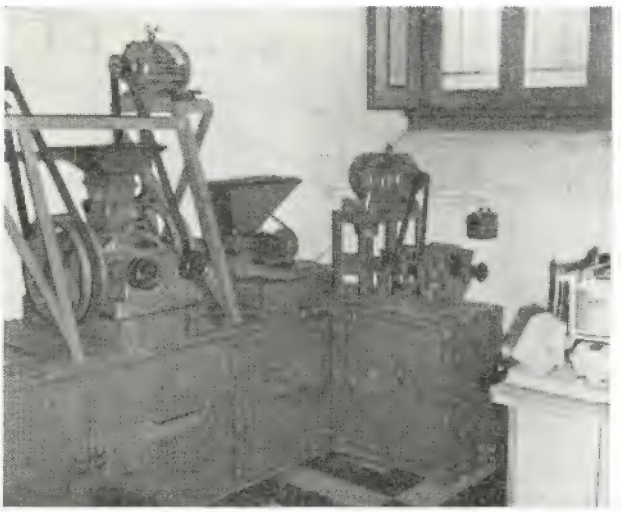


Fig. 1 — Moinho de cilindros Sturtevant, de 8" × 15", amostrador automático Denver, tipo Vezin, de 20", moinho de discos, Denver, de 5" e crivo vibratório JEL, de 8"

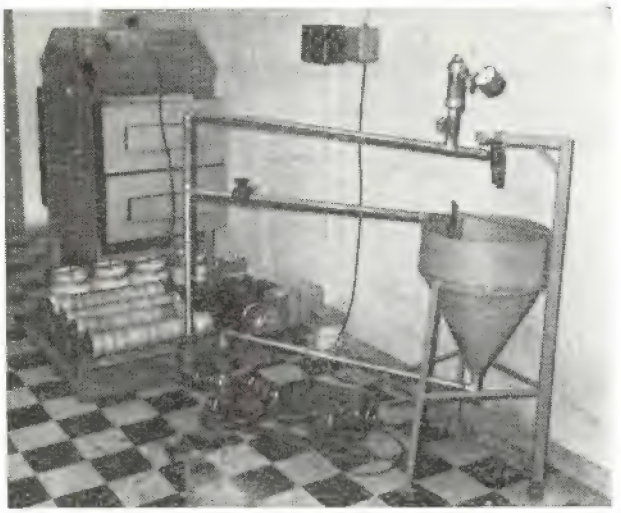
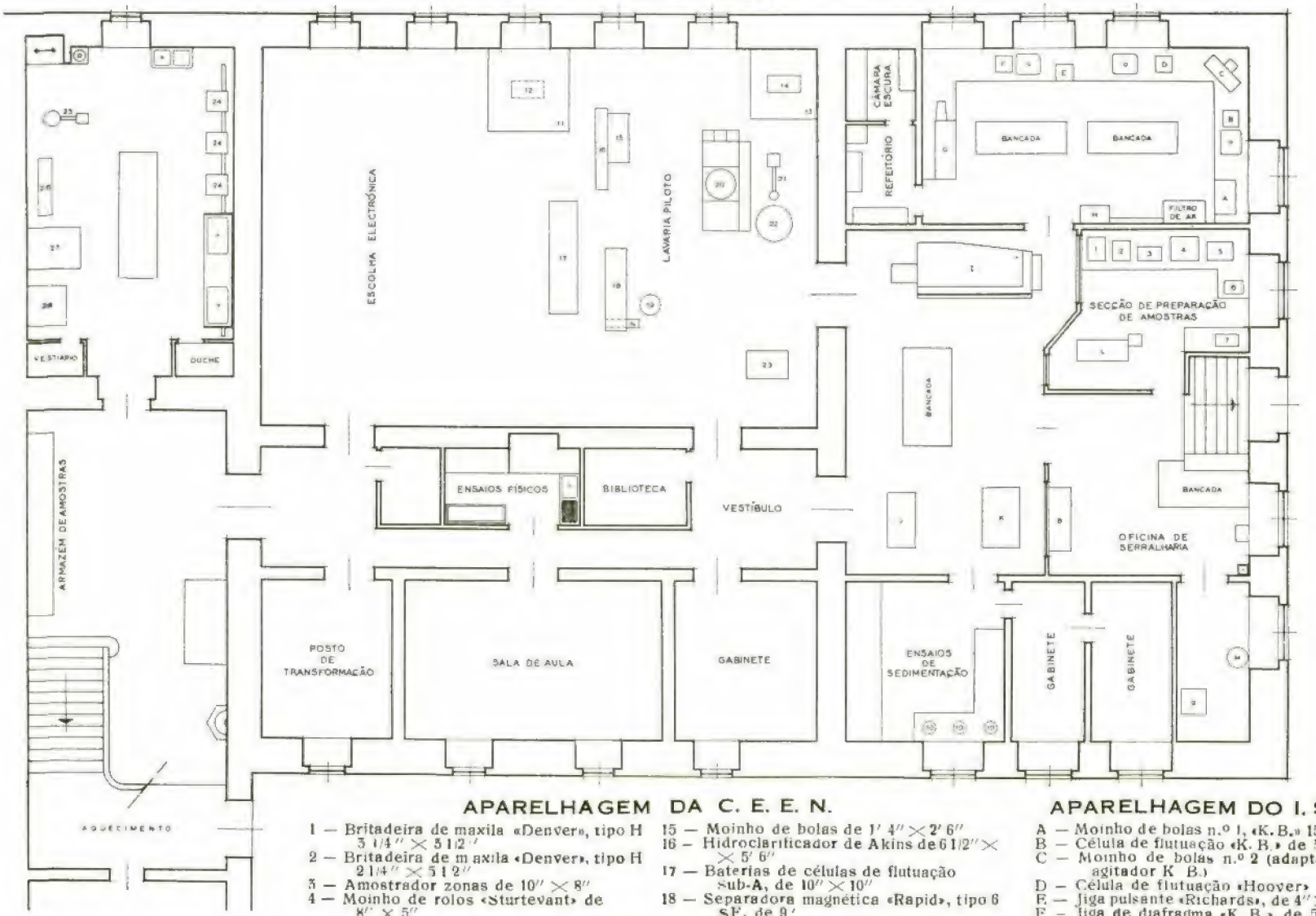


Fig. 2 — Estufa de radiação moinho de jarros, Denver, de 4 rolos de 24" e microciclone de 1"

PLANTA GERAL



APARELHAGEM DA C. E. E. N.

1 — Britadeira de maxila «Denver», tipo H 3 1/4" × 5 1/2"
2 — Britadeira de maxila «Denver», tipo H 2 1/4" × 5 1/2"
3 — Amostrador zonas de 10" × 8"
4 — Moinho de rolos «Sturtevant» de 8" × 5"
5 — Amostrador automático Vezin «Denver», de 20"
6 — Moinho de discos «Denver», de 20"
7 — Crivo vibratório de laboratório «Jel», de 8"
8 — Torno «Myiord»
9 — Separadora electrostática «Kipp Kelly», modelo B, de 12"
10 — Agitadores
11 — Torba de minério graúdo
12 — Britadeira de maxilas «Nery», de 4" × 6"
13 — Torba de minério granulado
14 — Moinho de rolos «M A» de 150×300 mm
15 — Moinho de bolas de 1' 4" × 2' 6"
16 — Hidroclarificador de Akins de 6 1/2" × × 5' 6"
17 — Baterias de células de flutuação Sub-A, de 10" × 10"
18 — Separadora magnética «Rapid», tipo 6 SF, de 9"
19 — Doseador de 15"
20 — Espiral de Humphrey, tipo 24 A, de 5 voltas
21 — Hidrocicione de 100 mm
22 — Cone de areias de 700 mm
23 — Crivo vibratório «Denver-Dillon», de 1' × 3'
24 — Células de flutuação «Minemet», de 2,5 ; 5 ; 25 litros
25 — Microciclone de 1"
26 — Mesa basculante «Minemet», de 0,20 × 1,21 m
27 — Moinho de jarros «Denver» de 4"×24"
28 — Estufa de radiação

APARELHAGEM DO I. S. T.

A — Moinho de bolas n.º 1, «K. B.» 15" × 5"
B — Célula de flutuação «K. B.» de 3400 cc.
C — Moinho de bolas n.º 2 (adaptado do agitador K B.)
D — Célula de flutuação «Hoover»
E — Jiga pulsante «Richards», de 4" × 3 1/2"
F — Jiga de diafragma «K. B.» de 5 3/8" × × 5 3/8"
G — Mesa oscilante «K. B.» 3' 4" × 1' 6"
H — Estufa
I — Mesa oscilante de 2,6 × 1,2 m
J — Jiga manual de 10" × 12"
K — Separadora magnética de indução «Stearns» de 5 rolos
L — Crivo vibratório M. C., tipo B, de 780 × 1250 mm
M — Separata magnética de refluxo de 45 mm diâmetro
N — Densificador (parafuso de Akins) de 3' × 4"

são de volume muito pequeno e têm de ser moídas muito finamente; as segundas, de maior volume, são amostras de granulometria controlada.

Além disso, durante as fases sucessivas dos ensaios, os produtos que se vão obtendo tem quase sempre que ser caracterizados, quer química, quer granulométrica, quer mineralògicamente o que obriga a nova colheita de amostras.

Em qualquer caso, como é evidente, a amostra terá sempre de ser fracção representativa do todo a que diz respeito e para o caso da amostragem dos produtos a granel a teoria mostra ser válida a relação $\gamma\ \sigma^2 = k\ d^3$, entre o peso específico γ, a variância do erro relativo σ^2, o calibre máximo d e uma constante k específica do material amostrado.

Vê-se, portanto, que querendo aumentar o rigor de uma amostragem haverá que diminuir o calibre antes de proceder à sua colheita.

Por outro lado, a teoria também mostra e o senso comum confirma-o que deminuindo o peso da amostra diminue o rigor da amostragem.

Destas premissas se conclue que, para obter amostra de pequeno peso com rigor controlado, é imprescindível alternar a amostragem com a fragmentação. Foi seguindo esta orientação que se escolheu e montou a aparelhagem da Secção de preparação de amostras do Laboratório.

A aparelhagem montada é a seguinte:

- uma britadeira de maxilas Denver tipo H de 3" 1/4 × 4" 1/2
- uma britadeira de maxilas Denver tipo H de 2" 1/4 × 3" 1/2
- um amostrador Denver tipo Jones de 10" × 8"
- um moinho de cilindros Sturtevant de 8" × 15"
- um amostrador automático Denver tipo Vezin de 20"
- um moinho de discos Denver de 5"
- um crivo vibratório do laboratório JEL de 8" provido com uma colecção de peneiros «Tyler Standar»
- um crivo vibratório de mossas excêntricas M. C. tipo B de 750 mm × 2,250 mm com três peneiros.

Os seis primeiros aparelhos estão montados sobre uma bancada de ferro estanque dividida em outros tantos compartimentos que comunicam com as referidas máquinas e dispoêm de uma larga porta na face anterior para permitir a limpeza de cada um deles. Na face posterior cada compartimento comunica com uma conduta geral de aspiração que tem um filtro de poeiras intercalado antes do aspirador.

Com este dispositivo, qualquer operação de fragmentação ou amostragem pode ser efectuado mantendo, nos compartimentos em serviço, pequena depressão, aliás controlável, que impede completamente a contaminação da atmosfera pelas poeiras. Devido ao seu grande volume cada compartimento funciona como câmara disposição de poeiras as quais podem ser recuperadas com um simples aspirador e englobadas na amostra em tratamento.

A experiência tem mostrado que a solução adoptada satisfaz a maioria dos requesitos da amostragem controlada com um mínimo de incómodo e grande rapidez de execução.

Ainda pertencendo a esta secção e destinado à realização de moagem a seco ou com água dispõe o laboratório de:

- um moinho de bolas Knapp & Bates de 5" × 15"
- um moinho de bolas duplo de 2 litros
- um moinho de jarros Denver de 4 rolos de 24"

Esta última aparelhagem permite também efectuar certos ensaios de aptidão à moagem de grande interesse prático.

2. 2 — *Secção de ensaios discontínuos (ensaios prévios) (Figs. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 e 9).*

Como regra geral, caracterizadas as espécies mineralógicas mais importantes e estudadas algumas preparações ao microscópio, dispõe-se de orientação bastante para iniciar tentativas de concentração, o que se faz utilizando pequenas amostras e aparelhagem dita de laboratório, isto é, uma escala reduzida. Estas tentativas permitem, na maioria dos casos, excluir alguns dos processos encarados inicialmente e fornecem as primeiras relações entre certos parâmetros de concentração e o grau de individualização e a granulometria dos lotes ensaiados.

Assim, estes ensaios prévios em pequena escala

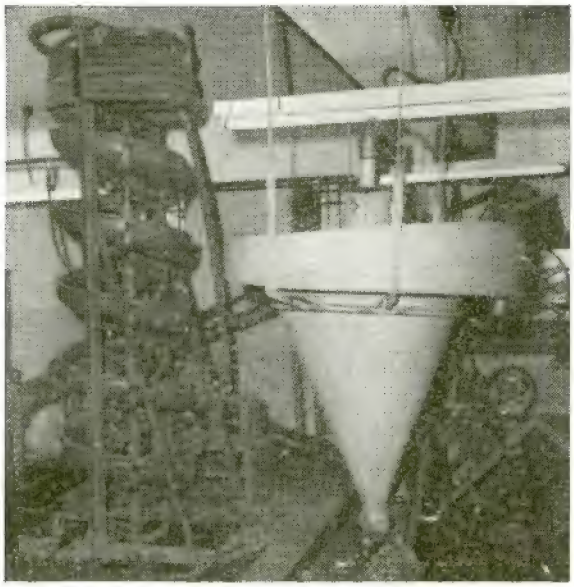


Fig. 3 — Espiral de Humphrey, tipo 24 A, de 5 voltas e cone de areias de 700 mm

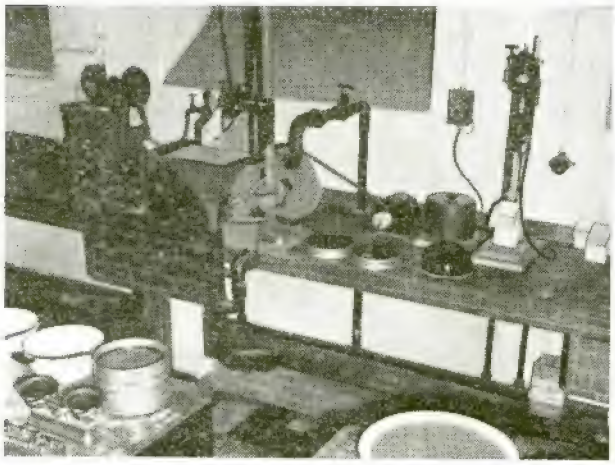


Fig. 4 — Jiga de diafragma Knapp & Bates, de $5'' \, {}^3/_8 \times 5'' \, {}^3/_8$, jiga pulsante de Richards, de $4'' \times 3'' \, {}^1/_2$ e célula de flutuação Minemet, tipo L 2

são essenciais, porque, quando suficientemente exaustivos, permitem estabelecer os diagramas de tratamento físico *tècnicamente* mais aconselháveis.

Há dois modos de conduzir estes ensais. Num deles, utilizado pela escola anglo-saxã, pretende-se com os ensaios em pequena escala verificar a possibilidade de concentração e fixar parametros de trabalho, e também parâmetros de concentração que se consideram aproximadamente válidos à escala industrial. Noutro, seguido pela escola europeia, pretende-se realizar ensaios típicos à custa dos quais se podem construir as *curvas de lavabilidade* que conjuntamente como as *funções de dispersão*, conhecidas para a maquinaria industrial, permitem prever os resultados.

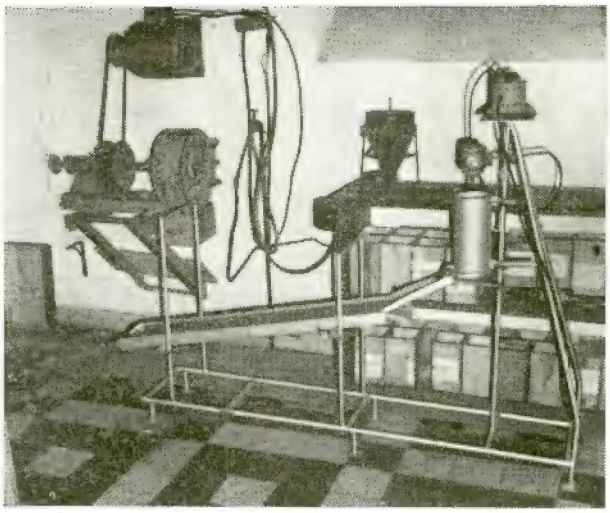


Fig. 5 — Mesa basculante Minemet, de 200 × 1200 mm

É oportuno referir que a escola europeia só tem logrado aplicar os seus conceitos à calibragem, hidro-classificação, concentração hidrogravítica e densitária, deixando de parte, por dificuldades intrínsecas ainda não ultrapassadas, a concentração magnética e electrostática, a flutuação, etc. Todavia, no domínio da sua aplicação os resultados que alcança merecem maior confiança do que os da escola anglosaxonica, sem dúvida mais empírica.

Por estas razões compreende-se que qualquer laboratório deverá estar apetrechado, no capítulo

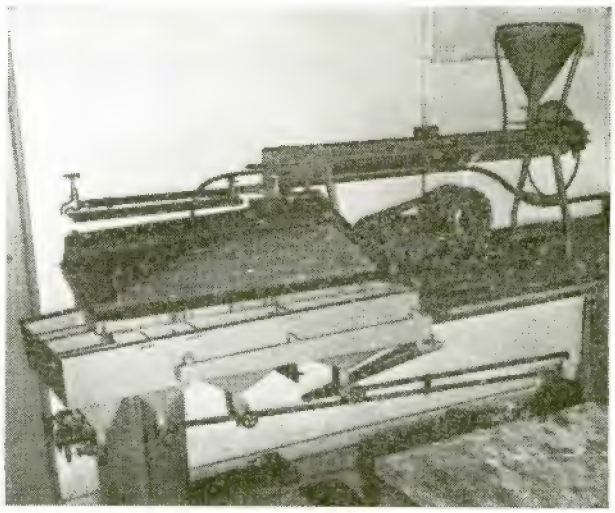


Fig. 6 — Mesa oscilante Knapp & Bates, de $3' \, 4'' \times 1' \, 6''$

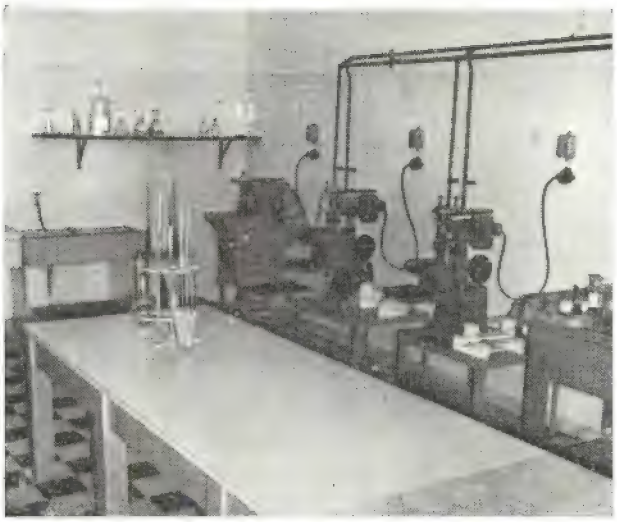


Fig. 7 — Células de flutuação Minemet, tipos H 300, H 180 e H 130

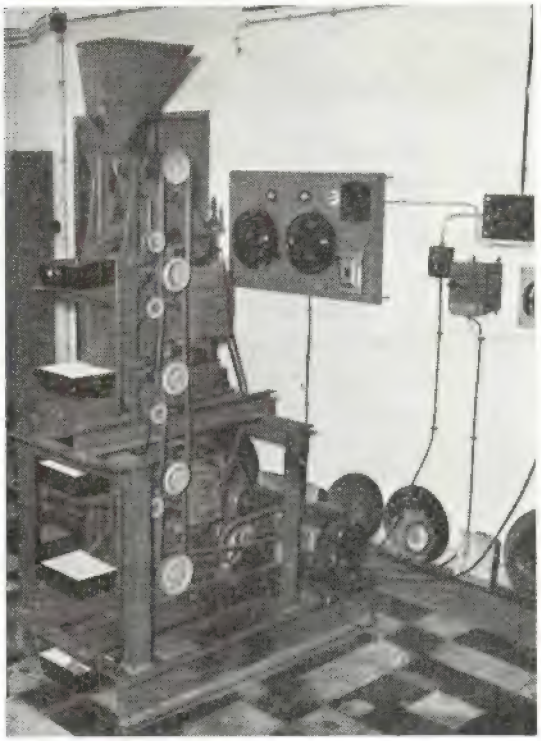


Fig. 8 — Separadora magnética de indução Stearns de 5 rolos

dos ensaios prévios, com aparelhagem que lhe permita seguir qualquer das orientações.

Nesta secção do Laboratório encontra-se montada a seguinte aparelhagem principal:

— um cone de areias de 700 mm
— um tubo de 6" para ensaios de estratificação com carvões
— uma jiga de diafragma Knapp & Bates de 5" 3/8 × 5" 3/8
— uma jiga pulsante de Richards de 4"×3" 1/2
— uma jiga manual de grelha móvel de 10"×12"
— uma espiral de Humphrey tipo 24 A de 5 voltas
— uma mesa basculante Minemet de 200 × × 1200 mm
— uma mesa oscilante Knapp & Bates de 3'4" × 1'6"
— uma mesa vibrante de 2,6 m × 1,2 m
— uma célula de flutuação Hoover tipo sub-A de 2 500 cc.
— uma célula de flutuação Knapp & Bates de 3.400 cc.
— uma célula de flutuação Minemet tipo L 2
— uma célula de flutuação Minemet tipo H 130 de 2.500 cc.

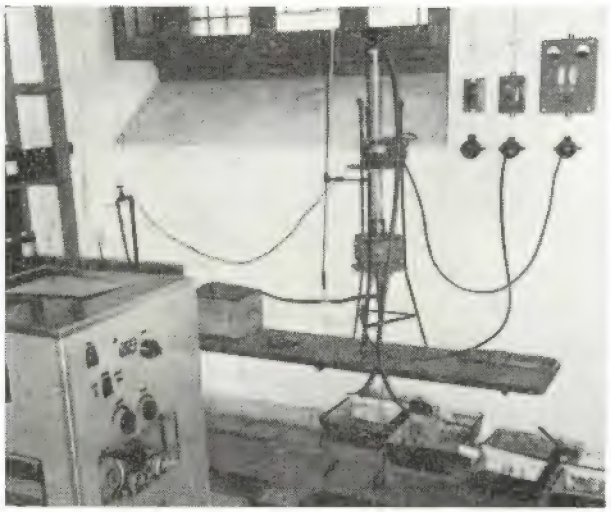


Fig. 9 — Separadora electrostática Kipp Kelly, modelo B de 12" e separadora magnética de refluxo de 45 mm

— uma célula de flutuação Minemet tipo H 180 de 5.000 cc.
— uma célula de flutuação Minemet tipo H 300 de 25.000 cc.
— uma separadora magnética de indução Stearns de 5 rolos
— uma separadora magnética de refluxo de 45 mm
— uma separadora electrostática Kipp Kelly, modelo B de 12"
— um microciclone de 1"
— um hidrociclone de 100 m/m

— três agitadores para ensaios de sedimentação
— aparelhagem diversa e reagentes para ensaios com líquidos densos.

Como aparelhagem acessória, destacamos, nesta secção:

— um microscópio estoreoscópico
— um contador de Geiger
— uma lâmpada de luz de Wood
— balanças diversas, incluindo uma de Joly e uma Mettler
— aparelhagem diversa para amostragens.

2. 3. — *Lavaria-piloto (capa e Figs. 3, 10 e 11)*

Os ensaios discontínuos prévios raramente podem fornecer informação reprodutível ao nível industrial sobre certos parâmetros de trabalho, como sejam os consumos de água e energia, os tempos de operação, etc. Por outro lado, certas

Fig. 10 — Moinho de bolas de 1' 4'' × 2' 7'' e hidroclassificador de Akins de 6'' 1/2 × 5' 6''

operações, como a crivagem e o desenlameamento não podem ser estudadas sem que sejam conduzidas sobre amostras relativamente volumosas e com maquinaria de grandes dimensões. Anàlogamente, o retratamento dos mistos e as granulações e moagens em circuito fechado não se domi-

Fig. 11 — Separadora magnética Rapid, tipo 6 SF de 9'', densificador de 4'' × 3' e doseador de 13''

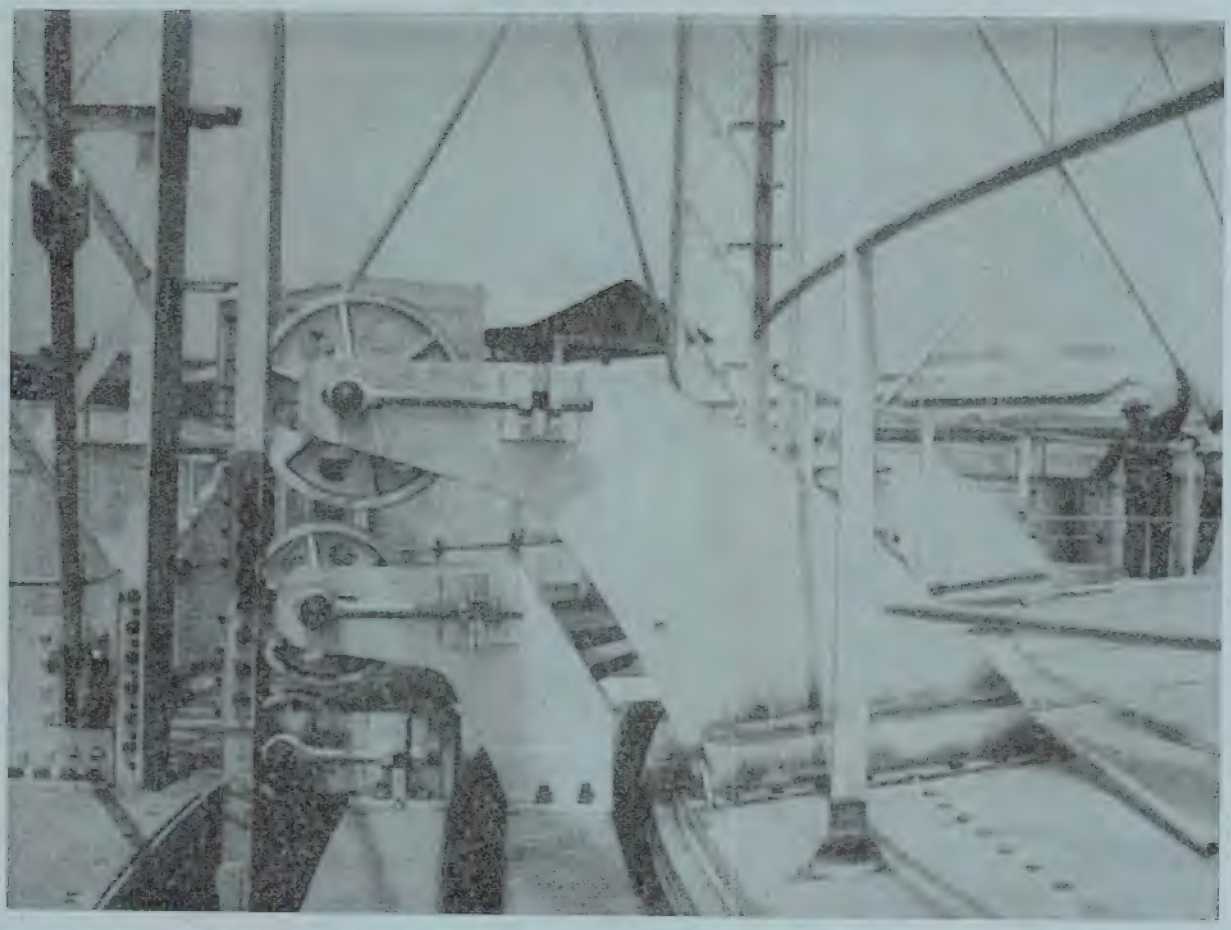
nam em ensaios discontínuos sem a introdução de hipóteses falazes e trabalhosas. Além disso, o o facto de se alimentar o modelo reduzido discontìnuamente reduz a possibilidade de se estudar convenientemente o que ocorrerá nas montagens industriais. Sobre tudo isto ressalta ainda a circunstância, tanta vez verificada, de os resultados obtidos nos modelos serem *peores* do que os industriais por qualquer das razões seguintes:

(i) existência de efeito de parede pronunciado no modelo reduzido
(ii) ocorrência de uma fracção da amostra que enche os volumes mortos do modelo que se não sabe a que produto se há-de atribuir
(iii) tendência para prolongar demasiadamente o tempo de operação no modelo.

Se a estes inconvenientes da utilização dos modelos acrescentarmos que ao estudar concentrações sucessivas há que passar nos primeiros aparelhos, carga volumosa para que as operações subsequentes tenham amostra de peso bastante, que se não fica com ideia correcta da amplitude das operações intermédias, como sejam os espessa-

MAGUE

CONSTRUÇÕES METALO-MECÂNICAS MAGUE, L.DA
(S. E. MONIZ DA MAIA & VAZ GUEDES, L.DA)
Alverca — Portugal

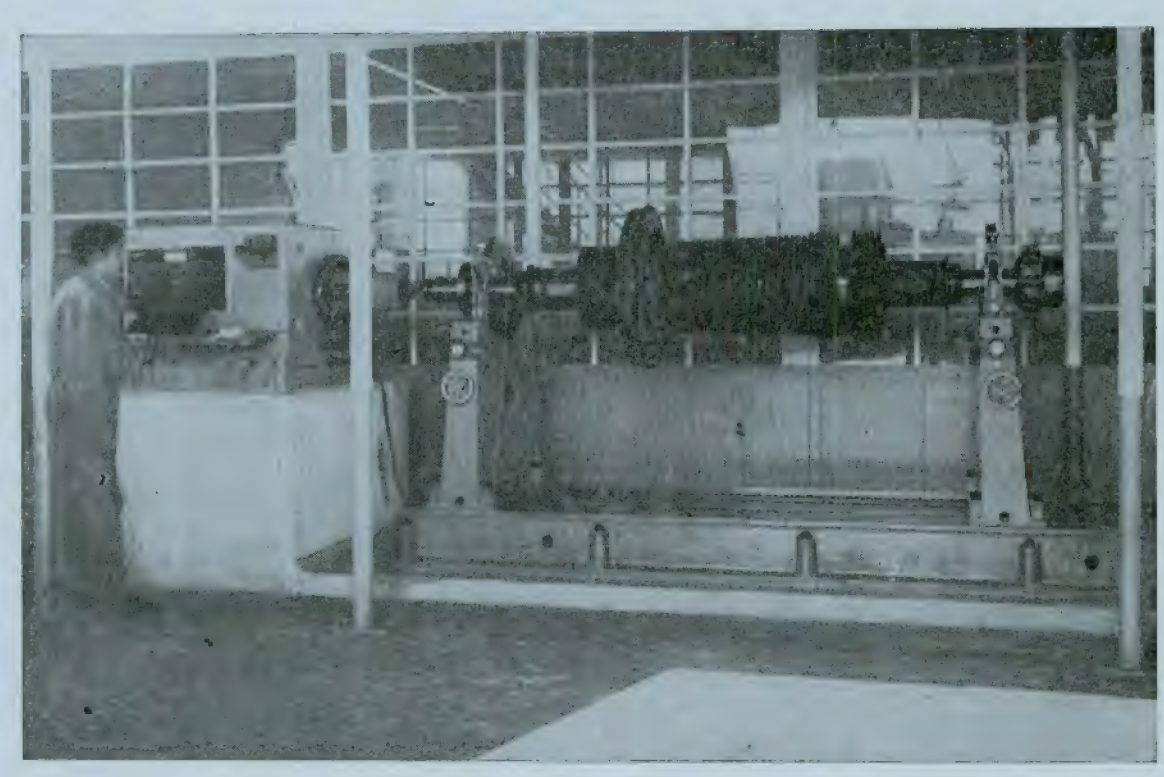


Gasómetro telescópico de 3 levas de 14.150 m³ — Aspecto das guias

PROJECTO E FABRICO DE
PONTES ROLANTES
GUINDASTES
GRUAS, DERRICKS E GUINCHOS
APARELHOS DE ELEVAÇÃO ESPECIAIS
CONSTRUÇÕES METÁLICAS PESADAS

A COMPANHIA UNIÃO FABRIL

põe à disposição dos seus clientes
no Estaleiro Naval:



— Uma oficina de Ensaios e Reparação Diesel

— Uma máquina electrodinâmica de equilibragem para rotores de 30 a 3000 Kgs. — 2 M. de diâmetro máximo — 3,420 m. entre apoios.

ROCHA DO CONDE DE ÓBIDOS
LISBOA

Telef. 66 21 48

mentos e as diluições, que se exagera *o tempo de contacto*, etc., ter-se-à uma ideia das limitações inerente aos ensaios prévios discontínuos

Para as suprir é habitual transitar daqueles ensaios para *ensaios contínuos* realizados em lavaria-piloto.

Estas costumam satisfazer a três condições: Permitirem o tratamento contínuo e sucessivo dos minérios em ensaio, disporem de maquinaria de dimensões próximas das industriais e estarem dotadas de aparelhagem de controlo e regulação muito desenvolvida. Rigorosamente há que considerar as *lavarias-piloto laboratoriais*, onde a maquinaria usada é ainda de dimensões relativamente reduzidas e as *lavarias-piloto semi-industriais* montadas e utilizando maquinaria industrial de pequena capacidade, mas onde se podem tratar volumes consideráveis de minério, em geral, sem a preocupação de benefício imediato, mas apenas para colher os elementos finais necessários à elaboração do projecto definitivo e à condução da lavaria industrial.

Não é habitual nas lavarias-piloto laboratoriais estudar a britagem primária em calibres graúdos, porquanto, para tanto, se impor a montagem de maquinaria industrial pesada e a movimentação de grandes quantidades de amostras. Quando muito, pode pretender-se estudar a granulação e a moagem, embora com certas limitações. A atitude mais habitual é considerar aquelas lavarias destinadas apenas, ao estudo da concentração, embora haja sempre que as dotar com aparelhagem de fragmentação e moagem, como é óbvio.

No Laboratório do Instituto Superior Técnico, iniciou-se em 1957, e tem prosseguido, a montagem de uma lavaria-piloto destinada especialmente ao estudo da concentração dos minérios de urânio e à preparação de amostras controladas volumosas para utilização no Centro de Química da C. E. E. N.

Espera-se, neste e no próximo ano, proceder à montagem do controlo e regulação imprescindíveis à boa utilização da lavaria.

A maquinaria desde já instalada é a seguinte, distribuida por quatro sub-secções a saber:

2.3.1 — *Sub-secção de britagem, granulação, calibragem e moagem*

Com a seguinte maquinaria principal instalada esta sub-secção pode tratar produtos desde 110/150 mm de calibre máximo:

— uma britadeira de maxilas Nery de 4″ × 6′
— um moinho de rolos M. A. de 150 × 300 mm
— um crivo vibratório Denver Dillon de 1″ × 3,
— um moinho de bolas de 1′ 4″ × 2′ 7″
— um hidroclassificador de Akins de 6″ 1/2 × × 5′ 6″ associado ao anterior moinho.

Este conjunto de maquinaria está, evidentemente, interligado por correias transportadoras e dispõe ainda de duas pequenas «torbas», uma destinada aos minérios graúdos e outra ao minério granulado, na qual no próximo ano, se espera instalar alimentadores automáticos e vibradores.

2.3.2 — *Sub-secção de flutuação*

Esta sub-secção dispõe de uma bateria de oito células de flutuação tipo Sub-A de 10″ × 10″. Projecta-se adquirir brevemente outra bateria e dotar o conjunto com alimentadores de reagentes apropriados e controlo automático do PH.

2.3.3 — *Sub-secção de concentração fílmica e hidrociclonagem*

Está montada nesta sub-secção a seguinte aparelhagem principal:

— um cone de areias de 700 mm para desenlameamento ou espessamentos prévios (1)
— um hidrociclone de 100 mm (1)
— uma espiral de Hunphrey tipo 24-A com cinco voltas (2).

2.3.4 — *Sub-secção de concentração com meios densos por ciclonagem*

A montagem desta secção está em curso e tem interesse muito especial para o prosseguimento dos estudos da concentração física da maioria dos minérios de urânio da Metrópole. Desde já dispõe de:

— um microciclone de 1″ (1)
— um crivo Denver-Dillon de 1′ × 3′ (modificado) (3)

---

(1) O mesmo referido na Secção de ensaios descontínuos.

(2) A mesma referida na Secção de ensaios descontínuos.

(3) O mesmo referido na Sub-secção de britagem, granulação, calibragem e moagem.

— uma separadora magnética Rapid (Magnetic Machinery, Ltd.) tipo 6 SF de 9"
— um densificador (parafuso de Akins) de 4" × 3'
— um doseador de 13"
— uma bomba para a circulação do suspensóide
— uma bomba para a circulação da água.

Espera-se completar este ano a montagem desta sub-secção, instalando dois espessadores, uma bobine desmagnetizante e uma bobine magnetizante. Durante o próximo ano, conhecidos melhor certos parâmetros de funcionamento do conjunto, instalar-se-á aparelhagem de controlo e e regulação automáticos (densímetros e medidores de caudal).

2.4 — *Secção de Química*

É imprescindível a caracterização mineralógica prévia das principais espécies presentes nas amostras a ensaiar. Como auxiliar desta tarefa dispõe o laboratório de aparelhagem para ensaios microquímicos mais usuais e para ensaios pirognósticos.

A título provisório, tem o laboratório, de há dois anos para cá, efectuado quase todas as operações analíticas do doseamento do Urânio por colorimetria, nas suas próprias amostras, para aliviar trabalho ao Centro de Química.

2.5 — *Secção bibliográfica*

Esta secção iniciou a sua actividade regular recentemente e tem em curso entre outras coisas a organização de um ficheiro das revistas recebidas no Instituto Superior Técnico. Espera-se poder assinar brevemente um número elevado de revistas da especialidade a expensas da C. E. E. N.

2.6 — *Oficina de Serralharia*

Pouco depois de iniciada a actividade do laboratório, no ambito do C. M. G., reconheceu-se a vantagem de se dispor de pequena, mas bem apetrechada, oficina de serralharia que desse assistência à aparelhagem adquirida, procedesse às montagens e realizasse certos fabricos.

A oficina que se organizou dispõe de soldadura oxiacetilénica, eléctrica, de um torno, de uma ampla bancada para trabalho com os habituais aparelhos, etc, etc.

Tem prestado valiosa contribuição à actividade do laboratório.

2.7 — *Secção de encomendas e armazéns*

Os serviços inerentes a esta secção estão montados e encarregados deles bolseiros I. A. C. que os conduzem de acordo com as normas regulamentares da C. E. E. N.

3 — O FUTURO DO LABORATÓRIO

Feita sucintamente a *história* do laboratório, enumerada a principal maquinaria de que dispõe, apontados aqui e acolá alguns desenvolvimentos a fazer em futuro imediato, é oportuno referir as três principais limitações que há que ultrapassar para que o laboratório possa *crescer*. São elas o espaço disponível que é já escasso (V. Planta anexa); a insuficiência dos quadros, quanto ao número e qualificação a que já nos referimos; e finalmente, sem ser a menor, a carência de verba fixa e avultada, quer para acudir à manutenção, quer para prover ao apetrechamento quase permanente a que um laboratório de investigação tem de estar sujeito.

Anular estas limitações é dar condições de vida a um serviço que cremos ter já demonstrado poder fazer bom e útil trabalho nos campos do Ensino, da Investigação e do Fomento Industrial.

E é oportuno frizar que, pelo menos, na década mais próxima, é utópico ou mesmo impróprio, por excessivamente dispendioso ou não económico, pretender montar um laboratório de tratamento de minérios com bom nível técnico apenas preparado para servir a indústria privada, como também o é organizá-lo só para fins pedagógicos ou sòmente para a investigação, num país como o nosso, que infelizmente e por nossa culpa, é um país pobre.

Parece-nos a experiência que logramos realizar no I. S. T. de montar e manter um laboratório de atribuições múltiplas bastante esclarecedora para mostrar o caminho a seguir se se quiser dotar o País com um elemento de trabalho e progresso por muitas razões necessário. Deixaremos, contudo, para ulteriores considerações o desenvolvimento pormenorizado destes pontos.

Lisboa, Julho de 1959.

ALGUNS TRABALHOS EFECTUADOS PARA ENTIDADES PARTICULARES NO LABORATÓRIO DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Além de numerosas análises granulométricas e ensaios de concentração expeditos, destacamos os seguintes trabalhos:

— Estudo da concentração das Hematites da mina da Ribeira de Almeida (Alvaiázere).
— Estudo dos estéreis das mesas de flutuação das minas da Borralha com o fim de definir as bases do seu possível aproveitamento.
— Ensaios de lexiviação e ensaios prévios de flutuação do minério de cobre da mina Miguel Vacas (FMIL).
— Ensaios prévios de grelhagem magnetizante das Hermatites da mina de Fragas da Carvalhosa — Moncorvo. (Ferrominas, Ld.ª).
— Ensaios de concentração magnética a seco e em meio húmido do mesmo minério.
— Ensaios de concentração por jigagem e com espiral de Hunphrey do mesmo minério.
— Ensaios de concentração do minério do aluvião estanífico da mina de Sabrosa—Tondela (CASIVOL).
— Ensaios de concentração hidrogravítica e magnética dos minérios dos depositos litorais de S. Torpes (Sines).
— Ensaios prévios de concentração do minério de baixo teor de Cassinga (Companhia Mineira do Lobito).
— Ensaios prévios de concentração de silicatos de alumínio (SIMBAU).
— Ensaios de concentração hidrogravítica e magnética de minérios aluvionares de Cassiterite.
— Ensaios prévios de concentração de um minério aurífero (Pereira Coutinho e Allam Ld.).
— Ensaios de concentração do minério da mina de Lagares (Estana) (em curso).

C. D. U. 621.311.5/94

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.)

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 92,0 °/₀ dos totais do País.*

MAIO

I — Breve nota mensal

Sob o ponto de vista hidrológico, o mês de Maio apresentou-se, no conjunto, acima da média.

II — Elementos gerais (GWh)

a) Mensais

	1958	1959	Variação °/₀
Produção hidráulica (P_h) . . .	198,5	212,3	+ 7
Produção térmica (P_t)	0,0	4,8	—
Produção total (P_T)	198,5	217,1	+ 9
Cons. não perman. (C_{np}) (1)	51,6	61,1	+ 18
Cons. permanentes (C_p) . . (1)	136,7	149,4	+ 93 (2)
Consumo total (C_T) . . . . (1)	188,3	210,5	+ 12

b) Acumulados desde 1 de Janeiro de 1959

	1958	1959	Variação °/₀
Produção hidráulica (P_h) . . .	930,2	1.137,2	+ 22
Produção térmica (P_t)	39,2	5,1	— 87
Produção total (P_T)	969,4	1.142,3	+ 18
Cons. não perman. (C_{np}) (1)	210,1	299,8	+ 43
Cons. permanentes (C_p). . . (1)	716,8	807,1	+12,6 (2)
Consumo total (C_T) . . . . . (1)	926,9	1.106,9	+ 19

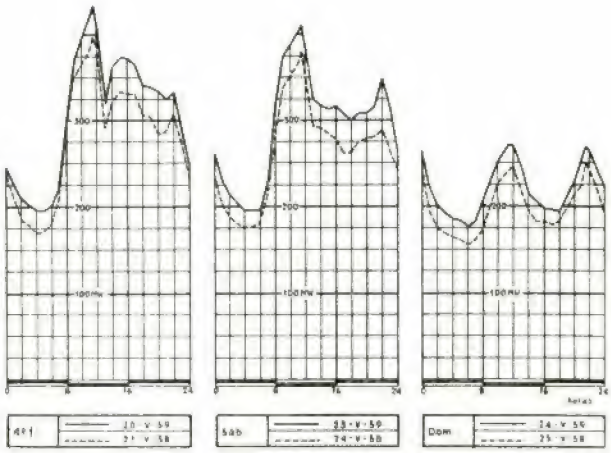
Notas:

(1) Vidé nota referente a Jan. 1959.

(2) O aumento percentual dos consumos permanentes, tendo em conta a incidência dos domingos e dias especiais, foi respectivamente de 11,7 e 13,0 °/₀.

III — Diagrama de carga dos dias característicos

	4.ª feira:	
	21-5-958	20-5-959
Produção hidráulica (P_h) — MWh	6.837	7.527
Produção térmica (P_t) — MWh . .	0	0
Produção total (P_T) — MWh . . .	6.837	7.527
Produção para consumos não permanentes — MWh.	—	1.920
Utilização da ponta (U) — horas	17,2	17,4
Factor de carga (α)	0,72	0,72
Relação $\frac{\text{Pot. min.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r)	0,43	0,45



III — Energia armazenada nas principais albufeiras

Albufeiras:	No fim do mês	
	GWh	°/₀ (1)
Paradela	219,6	98,7
Venda Nova	127,9	99,9
Salamonde	27,6	100,0
Caniçada	31,5	95,2
Guilhofrei	7,7	92,8
Lagoa Comprida	29,7 (2)	95,9
Santa Luzia	57,4	93,2
Cabril :	338,7	99,8
Castelo do Bode	162,6	99,8
Pracana	12,8	99,2
Póvoa	12,4 (3)	97,1
Total . . .	1.027,9	98,5

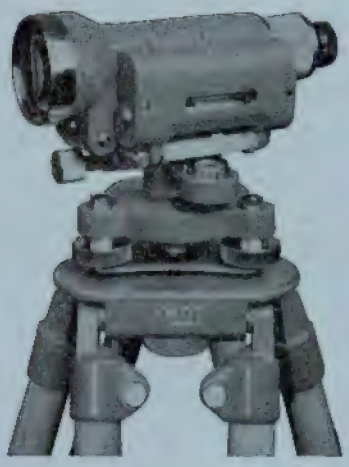
Notas:

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

(2) Inclui 1,5 Gwh armazenados em Vale do Rossim no fim do mês.

(3) Inclui 2,3 Gwh armazenados no açude do Poio no fim do mês.

NK 3 — O nível do engenheiro, para nivelamentos técnicos de responsabilidade.
O nível de coincidência é visível junto da divisão da mira dentro do campo de visão nos pontos extremos do alcance do óculo.
Graças ao micrómetro e mira de invar, obtém-se ainda maior precisão.



Kern SWISS

KERN — Instrumentos geodésicos de fama mundial pela perfeição técnica e precisão.

REPRESENTANTES PARA PORTUGAL:

EMÍLIO DE AZEVEDO CAMPOS & C.ª, L.DA

RUA DE SANTO ANTÓNIO, 137-145 — PORTO — TEL. 20254/5
RUA ANTERO DE QUENTAL, 17-1.º — LISBOA — TEL. 53366

UNILENE

Os tubos de polietileno «UNILENE», os seus acessórios de plástico «UNI-PLAST» e o seu processo de montagem e soldadura estão aprovados pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil, para:

CANALIZAÇÕES DE ÁGUA — Proc. 217-III

E

CANALIZAÇÕES DE ESGOTO DOMÉSTICO — Proc. 228-III

UNILENE

SOCIEDADE FABRIL DE MATÉRIAS PLÁSTICAS

PORTO
RUA DO HEROÍSMO, 291
Telef. 5 26 71

LISBOA
RUA DA EMENDA, 19
Telef 2 04 48

COIMBRA
AV. FERNÃO DE MAGALHÃES, 282
Telef. 2 69 84

C. D. U. 627.825.042.5

DETERMINAÇÃO DE TENSÕES DE ORIGEM TÉRMICA DE BARRAGENS-ABÓBADA POR MEIO DE MODELOS *

POR

MANUEL ROCHA

Director interino do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

E

J. LAGINHA SERAFIM

Investigador, Chefe da Secção de Barragens

1 — INTRODUÇÃO

Uma das principais conclusões geralmente extraídas da observação de barragens de betão é a de que a variação das condições térmicas constitui um factor de primordial importância no seu comportamento.

De facto, são medidas, frequentemente, junto aos paramentos das barragens espessas, extensões muito elevadas devidas à temperatura, e têm-se observado grandes deslocamentos em barragens-abóbada delgadas ocasionados pelas variações anuais, e mesmo diárias, das condições climáticas. Também são frequentemente encontradas fendas nos blocos das barragens, as quais sòmente podem ser atribuídas às variações da temperatura do betão, devidas ou à perda do calor de hidratação ou às grandes variações da temperatura exterior. Deve notar-se que, nas zonas do paramento de jusante onde aparecem pequenas tensões de tracção devidas à pressão hidrostática, é muito frequente observarem-se infiltrações, ou apenas fissuras, nas juntas entre blocos. Muito provàvelmente tais fissuras são originadas pelas tensões devidas à retracção e temperatura na superfície do betão, após serem retirados os moldes.

Certos tipos de barragens, tais como as de abóbadas múltiplas muito delgadas, têm apresentado infiltrações inconvenientes através de pequenas fendas, que podem ser explicadas pelos efeitos da temperatura, a qual tem, geralmente, uma distribuição muito complexa.

Contudo, o progresso na análise das tensões de origem térmica em barragens não tem sido importante. Isto deve-se, em primeiro lugar, ao facto das condições térmicas numa barragem serem muito complexas, e, em segundo lugar, à circunstância da determinação analítica das tensões de origem térmica num sólido, mesmo para casos de variações simples de temperatura, constituir um problema difícil.

A previsão das temperaturas durante a construção (de acordo com as várias técnicas de dissipação do calor de hidratação) e depois da barragem concluída (determinação das temperaturas no betão devidas a condições exteriores simplificadas) tem merecido grande atenção nos E. U. A. [1] e na Europa[2], mas poucos autores têm procurado deduzir os valores das tensões daí resultantes.

Geralmente, as barragens de gravidade de betão[3] e de contrafortes não são calculadas para as variações de temperatura. Zienkiewicz[4] usou, porém, métodos de relaxação para a determinação das tensões térmicas em estruturas maciças de betão para casos particulares de variações de temperatura, mas o método não foi ainda usado no estudo das variações periódicas da temperatura exterior. Também foram apresentadas, em 1945, por Arredi[5], soluções analíticas de problemas simplificados de tensões de origem térmica em barragens de gravidade. Todavia, pode dizer-se que, nestas estruturas, as tensões devidas à temperatura são desprezadas no cálculo ou consideradas como um factor secundário.

---

* Baseado na tradução dum trabalho apresentado como comunicação ao VI Congresso das Grandes Barragens, Nova Iorque, Setembro, 1958.

Na parte que se refere às barragens-abóbada, os problemas das tensões de origem térmica são ainda bastante mais complexos. Neste caso, tem sido sempre considerado aconselhável calcular os arcos para variações uniformes de temperatura, quer de um determinado valor[6] quer de um valor dependente da espessura dos arcos[7]. Mas é evidente que um tal método despreza tensões importantes, devidas à não uniformidade da temperatura ao longo da espessura da barragem. Durante a última década, os métodos de cálculo têm sido aperfeiçoados, pois, os arcos passaram a considerar-se submetidos a variações de temperatura não lineares. Contudo, nestes métodos, apenas teem sido considerados os arcos e as condições exteriores são muito simplificadas. Uma referência especial deve ser, aqui, feita ao trabalho dos autores italianos, especialmente Arredi[8], que apresentou fórmulas simples para a determinação da distribuição de temperaturas em barragens-abóbada submetidas a variações sinusoidais de temperaturas nos paramentos, variações essas consideradas constantes de encontro a encontro. Esse autor indicou ainda um método simples de cálculo das tensões daí resultantes.

No cálculo de barragens portuguesas, Serafim e Silveira consideraram não só a evolução anual da temperatura média diária do ar e da água a vários níveis[9] (projecto da barragem do Cabril) mas também os efeitos das variações de temperatura de períodos de 15 dias e diário, bem como uma elevação de temperatura do paramento de jusante devida à radiação solar[10] (projecto da barragem do Alvito). Foram consideradas, no cálculo «trial load» simplificado, as distribuições mais desfavoráveis de temperatura através da espessura da barragem, ao longo do ano. No cálculo dos deslocamentos radiais foram considerados os movimentos dos arcos e das consolas devidos a variações de temperatura e daí foram deduzidas as tensões elásticas de origem térmica totais. Foi considerado que as diferenças entre os diagramas reais e os diagramas lineares equivalentes davam origem ao desenvolvimento de tensões proporcionais a essas diferenças.

Além da crítica que pode ser feita ao uso do «trial load» simplificado na determinação de tensões devidas a variações de temperatura, é de notar que será muito difícil analisar uma barragem considerando condições térmicas variáveis ao longo do desenvolvimento dos arcos e que não é possível ter em consideração as distribuições complexas de temperaturas e tensões junto à fundação e ao coroamento.

Resumindo, pode dizer-se que o cálculo de tensões de origem térmica em barragens de betão está ainda muito longe de conduzir a resultados suficientemente exactos, sendo isto devido a três razões principais: (i) a determinação analítica da distribuição real de temperaturas numa barragem é um problema muito complexo e, na realidade, não se verificam as hipóteses das variações da temperatura exterior serem uniformes ou de se manterem as mesmas condições de uma a outra margem; (ii) os estados de tensão devidos a variações não uniformes de temperatura, quer ao longo da barragem quer na sua espessura, são muito complexos, especialmente próximo das fundações; mesmo os métodos analíticos mais aperfeiçoados, como o «trial load», não podem determiná-los com rigor, pois têm que supor uma distribuição linear de tensões ao longo da espessura e também porque os deslocamentos verticais não são tomados em consideração; (iii) as propriedades mecânicas do betão dependem da temperatura e é possível que se dê uma certa relaxação de tensões com o aumento de temperatura do betão; deve dizer-se, contudo, que medições de extensões de fluência em prismas de betão em massa, carregados aos 8 dias e mantidos a 20° C e a 45° C, levadas a cabo no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (L. N. E. C.), não mostraram aumento importante da fluência, nem abaixamento substancial do módulo de elasticidade com um aumento tão grande de temperatura. Os resultados não são ainda definitivos, estando em curso ensaios suplementares.

Um outro problema deve aqui ser mencionado: qual poderá ser o efeito das tensões de origem térmica, localizadas, nas condições de rotura de uma grande estrutura de betão? Um vasto programa de investigação da influência das tensões de origem térmica na rotura do betão está a ser conduzido no L. N. E. C.

As dificuldades acima citadas levaram o L. N. E. C. a estudar a técnica da determinação de tais tensões em barragens de betão por meio de modelos. Efectivamente, quando os problemas de fronteira (resolução de equações diferenciais para dadas condições aos limites) são muito complexos, a maneira adequada de os resolver é usar modelos ou analogias.

Até agora as investigações encontram-se ainda na primeira fase. Considerou-se, contudo, que valia a pena incluir nesta publicação os princípios que estão a ser seguidos nas investigações, o programa das mesmas, as técnicas usadas e o progresso já obtido no estudo de pormenores.

2 — VARIAÇÕES DE TEMPERATURA EM BARRAGENS

Como é bem conhecido, durante a construção duma barragem, podem ocorrer elevações importantes da temperatura do betão. Têm-se feito progressos no projecto, na betonagem, no arrefecimento prévio e posterior do betão, no fechamento das juntas e no uso de cimentos especiais de modo a eliminar, ou reduzir ao mínimo, os efeitos dessa elevação de temperatura e consequente arrefecimento dos blocos. A par disto, a plasticidade do betão jóvem evita o desenvolvimento de tensões elevadas. Por isso, o problema das tensões iniciais devidas à temperatura não é considerado na fase actual dos estudos de modelos.

A distribuição de temperaturas numa barragem, depois do calor de hidratação do cimento estar completamente dissipado, depende do tipo e configuração da barragem, do clima local, das características térmicas da fundação, da orientação e exposição da barragem ao sol, da cota da água armazenada e da distribuição de temperaturas na albufeira. Estas condições podem variar muito de um caso para outro. Por exemplo, a distribuição de temperaturas numa barragem de contrafortes é muito mais complexa do que numa barragem de gravidade. Nas regiões árticas a amplitude anual das variações da temperatura média diária é muito maior do que nas regiões subtropicais, enquanto que sucede o contrário em relação às variações diárias de temperatura. Uma barragem com a albufeira sempre cheia tem um comportamento diferente do de uma barragem para amortecimento de cheias. Duas barragens iguais na mesma região, uma com o paramento de jusante virado a Norte e a outra a Sul, apresentarão diferentes temperaturas, etc. Deve, contudo, acrescentar-se que há um outro fenómeno, associado às variações de temperatura, que tem também acção importante nas tensões superficiais: é o da secagem e consequente retracção do betão junto das faces. Os seus efeitos não podem ser fàcilmente separados, pois ambos dependem das condições climáticas e de exposição.

Com o fim de analisar as tensões devidas às temperaturas, as condições ambientes de uma barragem podem ser separadas como segue:

a) *No paramento de jusante* (acima do nível de água a jusante ou de construções tais como centrais) *e no de montante, acima do nível da água na albufeira:*

1. Evolução anual da temperatura média diária do ar; igual para toda a superfície da barragem. Tal evolução pode ser considerada como uma sinusoide de amplitude igual à variação mais desfavorável observada no local durante muitos anos.

2. Evolução da temperatura média diária do ar num período de 15 dias, a qual se verifica frequentemente no nosso clima. Pode também ser considerada como uma variação sinusoidal de amplitude determinada pela análise das temperaturas observadas.

3. Evolução diária da temperatura do ar, que também pode ser representada, aproximadamente, por uma sinusoide. A amplitude a considerar será a máxima amplitude observada.

4. Efeitos da radiação solar, dependentes das condições de exposição dos paramentos da barragem ao sol, e ainda dos seguintes factores — vento, chuva, humidade e evaporação. Estes fenómenos são responsáveis pelas condições não uniformes ao longo dos paramentos das barragens, isto é, pela assimetria verificada no seu comportamento térmico. Quando interessarem os efeitos da radiação solar, eles podem ser perfeitamente determinados[12] em cada ponto dos paramentos da barragem, entrando com a latitude do lugar, a orientação dos paramentos e a sua cor, bem como com a intensidade da radiação solar. O efeito da radiação num ponto pode, em primeira aproximação, ser traduzido como um incremento da sua temperatura.

A variação da temperatura num ponto da barragem pode, por conseguinte, ser definida como uma variação anual sinusoidal, mais uma variação quinzenal e outra diária, sinusoidais, mais o acréscimo de temperatura devido à radiação. Como a amplitude da última sinusoide é variável no ano, deve-se escolher a combinação possível, mais desfavorável, das amplitudes diárias, quinzenal e anual.

b) No paramento de montante, abaixo do nível da

água na albufeira, (o qual pode variar ao longo do ano e ser previsto de acordo com a utilização da água):

1. Temperatura constante, inferior à temperatura média anual do ar, decrescendo o seu valor com a profundidade, segundo uma dada lei baseada na observação de temperaturas em albufeiras similares.

2. Uma variação sinusoidal da temperatura, desfasada da temperatura anual do ar, dependendo a amplitude e a diferença de fase da profundidade da água na albufeira.

3 — ENSAIOS EM MODELOS PARA A DETERMINAÇÃO DE TENSÕES DE ORIGEM TÉRMICA

Os bons resultados já alcançados na análise experimental de barragens, por meio de modelos, submetidos à pressão hidrostática, peso próprio e outras cargas e, por outro lado, os recentes aperfeiçoamentos nas técnicas de determinação experimental de tensões de origem térmica[13], mostram a possibilidade de estender a análise experimental das barragens de betão às solicitações térmicas. Por um vasto inquérito acerca destes problemas, soube-se que estão a ser usados, com sucesso, nos E. U. A. (Baldwin, e na Suécia (Instituto de Investigações Aeronáuticas da Suécia — Departamento de Física), extensómetros eléctricos especiais autocompensados para serem aplicados em metais.

As condições térmicas nos paramentos das barragens também são agora melhor conhecidas graças à observação, e podem ser definidas como se indica no art. 2. Contudo, a reprodução simultânea de todas essas complexas condições num modelo é realmente muito difícil e, por isso, elas têm de ser estudadas em separado. Admitindo o comportamento elástico da barragem, o princípio da sobreposicão de efeitos permite, quer para fenómenos térmicos quer elásticos, que se somem as temperaturas e as tensões em qualquer ponto.

As primeiras pesquisas em modelos, a levar a cabo, dirão respeito às seguintes condições:

1. Variação sinusoidal de temperatura correspondente à onda anual de temperatura no protótipo, com a mesma amplitude para todo o o paramento de jusante, coroamento da barragem e parte superior do paramento de montante e com uma amplitude decrescente com a profundidade para a parte do paramento de montante em contacto com a água.

2. Variação sinusoidal de temperatura correspondente à onda diária actuando apenas no paramento de jusante, no coroamento da barragem e na parte do paramento de montante que não esteja em contacto com a água.

3. Aquecimento assimétrico do paramento de jusante e do coroamento da barragem correspondente à radiação solar a que a barragem está exposta.

No art. 6 ver-se-à como estas condições de temperatura serão impostas aos modelos nesta primeira fase dos trabalhos.

Também se pretende considerar outros casos de variação de temperatura quando a montagem para os ensaios em modelo estiver concluída, sendo, então, as temperaturas observadas comparadas com as obtidas por cálculos.

4 — LEIS DE SEMELHANÇA

Supondo que as barragens são sólidos homogéneos e isótropos, quer do ponto de vista elástico quer do ponto de vista térmico, devem respeitar-se as seguintes condições:

a) O modelo deve ser uma reprodução fiel do protótipo a uma certa escala. Todos os pormenores devem ser reproduzidos, sobretudo junto dos pontos em que se efectuam medições.

b) O material do modelo deve ser homogéneo e isótropo dos pontos de vista elástico e térmico.

c) O material do modelo deve ser elástico e o seu módulo de elasticidade (E_m) não deve variar com a temperatura, o tempo e a tensão. O coeficiente de Poisson do material do modelo deve ser igual ao do betão.

d) O coeficiente de dilatação térmica (α_m) e a difusibilidade térmica (h^2_m) do material do modelo não devem variar com a temperatura.

e) As fundações devem ser reproduzidas com uma profundidade conveniente de maneira a que, no modelo, estas funcionem aproximadamente como um sólido infinito.

f) O material que reproduz a fundação deve possuir propriedades elásticas e térmicas tais que as suas relações com as propriedades do material do modelo da barragem sejam iguais às do protótipo.

g) As temperaturas exteriores no modelo (T_m) e no protótipo (T_p) devem ser homólogas em cada instante. As temperaturas no interior resultarão, então, homólogas por virtude da semelhança.

Uma vez satisfeitas as condições acima mencionadas, é fácil obter, por exemplo pela análise dimensional, as relações de semelhança entre as tensões σ, extensões ε, deslocamentos δ e tempo t no modelo (m) e no protótipo (p), se as escalas dos vários parâmetros de que dependem forem conhecidas[14]. Essas relações de semelhança são as seguintes :

$$\sigma_m = \frac{1}{\omega \mu \varkappa} \sigma_p ,$$

$$\varepsilon_m = \frac{1}{\omega \varkappa} \varepsilon_p ,$$

$$\delta_m = \frac{1}{\omega \varkappa \lambda} \delta_p ,$$

$$t_m = \frac{\psi}{\lambda^2} t_p ,$$

onde

$\frac{1}{\psi} = \frac{h^2_m}{h^2_p}$ é a escala das difusibilidades,

$\frac{1}{\varkappa} = \frac{\alpha_m}{\alpha_p}$ é a escala dos coeficientes de dilatação térmica,

$\frac{1}{\mu} = \frac{E_m}{E_p}$ é a escala dos módulos de elasticidade,

$\frac{1}{\omega} = \frac{T_m}{T_p}$ é a escala das temperaturas,

$\frac{1}{\lambda} = \frac{a_m}{a_p}$ é a escala das dimensões.

A escala dos tempos que torna válida a condição *g*) é basilar para a semelhança das tensões, pois que esta exige que as temperaturas em todos os pontos do modelo sejam, em cada instante, proporcionais às do protótipo. A fixação da escala dos tempos é também muito importante, não só para o projecto do sistema de carga do modelo mas também para atender às características mais convenientes da aparelhagem de medida.

5 — MATERIAIS E ESCALAS DOS MODELOS

Como as medições a efectuar nos modelos são as de temperaturas, extensões e deslocamentos, as escalas e materiais escolhidos devem permitir efectuá-las com a necessária precisão. É importante notar que o material do modelo pode ter qualquer módulo de elasticidade, porque as grandezas atrás referidas são independentes desse parâmetro.

No que diz respeito à escala de temperaturas, esta deve ser fixada tendo em conta que as variações de temperatura nos modelos devem ser suficientemente grandes de modo a serem medidas com a desejada precisão. Por outro lado, tais variações não podem exceder um certo limite, dentro do qual as propriedades mecânicas e térmicas dos materiais permanecem aproximadamente constantes.

A escala dos coeficientes de dilatação térmica deve ser suficientemente grande, de modo que a escala das extensões, $\frac{\alpha_m}{\alpha_p} \cdot \frac{T_m}{T_p}$, permita que as extensões desenvolvidas nos modelos possam ser medidas com precisão suficiente.

Em face dos vários inconvenientes inerentes à construção de grandes modelos — como o tempo necessário, o espaço requerido e o custo do modelo[14] — tiveram de ser escolhidas escalas menores que 1/100. Para escalas inferiores a 1/500, as dificuldades em obter medidas de precisão, em encontrar extensómetros adequados e em obter as variações de temperatura exterior, seriam muito grandes.

Foram considerados, para a construção de modelos, três grupos de materiais, cujas propriedades estão indicadas no Quadro I.

a) *Metais* — (Ferro fundido, alumínio, bronze, latão e cobre) — Têm características elásticas e térmicas bem conhecidas que não variam pràticamente com a temperatura e, para tensões baixas, não apresentam fluência apreciável. O seu coeficiente de Poisson não é muito diferente do do betão. A aplicação dos extensómetros é muito fácil e as medições de tensões de origem térmica são muito facilitadas com o uso de extensómetros especiais autocompensados para os alongamentos térmicos. A moldagem dos modelos não é difícil; por isso, considerando os vários factores prèviamente discutidos, concluiu-se que o bronze podia ser um material muito conveniente para certos tipos de determinações, por meio de modelos, de tensões de origem térmica. Os metais têm, contudo, uma difusibilidade muito elevada e, por consequência, a onda anual tem que ser

QUADRO I

Características de vários materiais

Materiais	Características mecânicas		Características térmicas (c.g.s.)			
	E (kg cm^{-2})	ν	Condutibilidade térmica k	Calor específico c	Difusibilidade térmica h^2	Coeficiente de dilatação $^{o}C^{-1}$
Aço	2.100×10^3	0,3	0,108	0,11	0,126	12×10^{-6} *
Ferro fundido	1.000×10^3	0,25	0,112	0,11	0,134	11×10^{-6}
Alumínio	720×10^3	0,3	0,485	0,21	0,860	25×10^{-6} *
Bronze (90/10)	1.200×10^3	0,3	0,222	0,09	0,280	18×10^{-6}
Latão (60/40)	850×10^3	0,3	0,084	0,09	0,110	19×10^{-6} *
Cobre	1.300×10^3	0,3	0,927	0,09	1,140	16×10^{-6} *
Alkathene	2×10^3	0,44	0,0007	0,55	0,00137	160×10^{-6}
Perspex	28×10^3	0,36	0,0005	0,35	0,00119	71 a 80×10^{-6} *
Celulóide	18×10^3	0,40	0,0004	0,36	0,00074	140×10^{-6}
Marco	36×10^3	0,40	0,0005	0,55	0,00075	60×10^{-6}
Microbetão	250×10^3	0,2	0,0058	0,22	0,0107	10 a 12×10^{-6} *

* Valores determinados no L. N. E. C.

reproduzida por um período muito curto, podendo dizer-se que é quase impossível estudar os efeitos das variações diárias de temperatura com modelos metálicos (Quadro II). Além disso, tornam-se necessárias grandes amplitudes das variações de temperatura para obter medidas seguras de extensões.

b) *Plásticos* («alkathene» [polietileno], «palatal» ou «marco» [poliester], e «perspex» ou «lucite» [acrílico]) — Não são materiais perfeitamente elásticos, e a sua elasticidade e viscosidade variam com a temperatura e o tempo de carga. O seu elevado coeficiente de Poisson, próximo de 0,5, constitui um outro grande inconveniente. A aplicação de extensómetros vulgares é fácil, excepto nos polietilenos, mas, para os plásticos, não se fabricam extensómetros especiais autocompensados para a temperatura. A construção dos modelos não é difícil. Como a difusibilidade dos plásticos tem valores baixos, podem ser usadas escalas pequenas, como 1/200 a 1/400, sem que os períodos das variações de temperatura sejam demasiado curtos, como pode ser verificado no Quadro II. Dado que o seu coeficiente de dilatação térmica é muito elevado, os plásticos apresentam uma outra vantagem: requerem apenas amplitudes muito pequenas das variações de temperatura.

c) *Gesso e misturas de gesso e diatomite* — As suas propriedades elásticas e mecânicas variam muito com a temperatura, pois verificam-se modificações importantes na estrutura interna, devidas ao movimento das moléculas de água. Este movimento da água é também muito inconveniente para a «estabilidade» dos extensómetros aplicados sobre estes materiais. Ainda que tendo algumas propriedades adequadas, estes materiais não podem ser usados devido àqueles inconvenientes.

d) *Microbetão ou argamassa* — Os betões ou argamassas idosos e secos não apresentam, com a temperatura, modificações importantes das suas propriedades elásticas. Os fenómenos anelásticos podem ser muito diminutos se se usarem

QUADRO II

Escalas dos tempos e períodos das ondas térmicas anual e diária

			1/100	1/200	1/300	1/400	1/500
Materiais dos modelos	Ferro fundido	Escala dos tempos	1/125.000	1/500.000	1/1.130.000	1/2.000.000	1/3.130.000
		Onda anual (seg.)	252	63	28	16	10
		Onda diária (seg.)	0,69	0,17	0,08	0,04	0,03
	Bronze	Escala dos tempos	1/262.000	1/1.050.000	1/2.360.000	1/4.190.000	1/6.540.000
		Onda anual (seg.)	120	30	13	8	5
		Onda diária (seg.)	0,33	0,08	0,04	0,02	0,01
	Alkathene	Escala dos tempos	1/1.280	1/5.120	1/11.500	1/20.500	1/32.000
		Onda anual (seg.)	24.600	6.150	2.740	1.540	985
		Onda diária (seg.)	67,50	16,90	7,50	4,22	2,70
	Perspex	Escala dos tempos	1/1.100	1/4.450	1/10.000	1/17.800	1/27.800
		Onda anual (seg.)	28.400	7.090	3.150	1.770	1.130
		Onda diária (seg.)	77,80	19,40	8,63	4,86	3,11
	Microbetão	Escala dos tempos	1/10.000	1/40.000	1/90.000	1/160.000	1/250.000
		Onda anual (seg.)	3.150	788	350	197	126
		Onda diária (seg.)	8,64	2,16	0,96	0,54	0,35

composições adequadas. Note-se, porém, que, em todo o caso, estes fenómenos são semelhantes aos do betão dos protótipos. O coeficiente de Poisson é o mesmo do do betão. As propriedades térmicas não variam apreciàvelmente com a temperatura. Se os betões ou as argamassas forem convenientemente secos em estufa, algum tempo depois da moldagem dos modelos, os extensómetros especiais autocompensados poderão provàvelmente fornecer resultados seguros; no entanto, esta questão está ainda em estudo. A construção dos modelos não é difícil, necessitando, todavia, de moldes perfeitos para obter, desde logo, as formas definitivas. A escala do tempo para os modelos construídos em escalas inferiores a 1/200 (Quadro II) é pequena, mesmo para a variação anual, especialmente, porque são necessárias grandes amplitudes das variações de temperatura em consequência do baixo coeficiente de dilatação térmica destes materiais.

6 — SISTEMAS PARA APLICAÇÃO DE VARIAÇÕES DE TEMPERATURAS

Um dos mais delicados problemas a resolver é o de encontrar um sistema adequado que provoque, nos diversos pontos dos paramentos dos modelos, variações de temperatura de um dado período, amplitude, distribuição e diferença de fase.

O Quadro II mostra que, mesmo para os plásticos, a onda diária de temperatura tem que ser reproduzida nos modelos por variações de temperatura de período muito curto. Por isso e até porque parece ser a mais importante, foi decidido empreender os primeiros estudos em modelo para a variação anual de temperatura.

Ao considerar a variação anual de temperatura do paramento de jusante, convém reproduzir simultâneamente a variação anual da temperatura do paramento de montante, isto é, a temperatura da água da albufeira aos vários níveis. Para simplificar, supõe-se, no primeiro estudo, sempre a água no nível máximo.

É importante acentuar que o sistema de imposição de variações de temperatura ao modelo deve trabalhar em condições tais que a temperatura média em todo o sistema seja sensìvelmente igual à temperatura ambiente, isto é, a temperatura média do modelo deve ser, quanto possível, pouco diferente da temperatura da sala onde os ensaios sejam realizados.

Estão sendo estudados dois sistemas diferentes para imposição de variações de temperatura, sobre os modelos:

a) Aquecimento e arrefecimento dos paramentos do modelo por meio de banhos de óleo, com um sistema de serpentinas onde pode circular água quente e fria;

b) Aquecimento dos paramentos por irradiação, utilizando lâmpadas especiais de infra-vermelhos, e arrefecimento das faces por meio de jactos de ar seco arrefecido.

Foi decidido começar o estudo do sistema de banhos de óleo, considerado mais fácil de realizar.

A existência de um modelo da barragem do Cabril, em «alkathene» à escala 1/400, facilitou o início dos ensaios, tendo para ele sido projectado, de acordo com o desenho da fig. 1, um primeiro sistema de serpentinas. No banho do paramento de jusante, foram montadas, aproximadamente paralelas ao paramento da barragem, duas serpentinas (tubos de cobre com 8 mm de diâmetro) nas quais a água circula em direcções opostas. Isto permitiu a produção de condições uniformes, de uma à outra margem. No paramento de montante foram colocadas, horizontalmente e um pouco abaixo da crista da barragem, duas serpentinas em tubos de cobre do mesmo diâmetro. Nos banhos que cobriam completamente a barragem, como está indicado na fig. 1, foi usado óleo de transformador, de boas propriedades isolantes. A superfície da fundação do modelo foi isolada tèrmicamente, a fim de se imporem, apenas, variações de temperatura ao corpo da barragem. Foram colocados pares termoeléctricos em vários pontos dos paramentos do modelo, a vários níveis.

A água quente ou fria pode ser bombada através de tubos. A fig. 2 mostra esse modelo durante os primeiros ensaios.

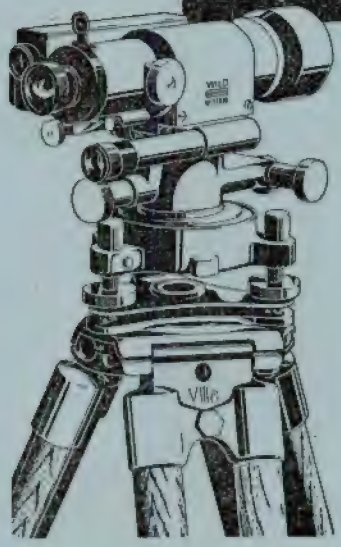
Ao projectar o sistema de serpentinas para aplicação de variações de temperatura, teve-se em conta o seguinte:

1. Dada a importante convexão que se produz no banho, torna-se necessário forçar que o óleo quente que sobe à superfície, baixe.

2.° Para períodos curtos do ciclo de temperaturas nos paramentos, as serpentinas devem ter um elevado coeficiente de trocas de calor. Também o volume de óleo no sistema deve ser tão

WILD
HEERBRUGG

a marca suiça
de fama mundial



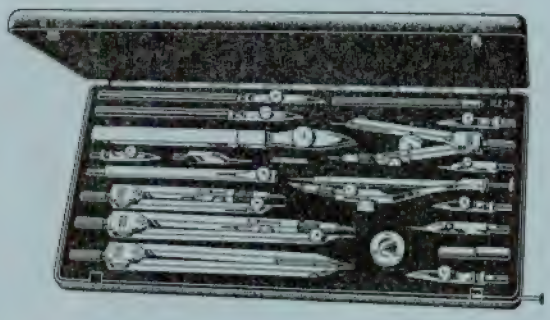
NÍVEIS E TEODOLITOS

de construção moderna
para todos os fins

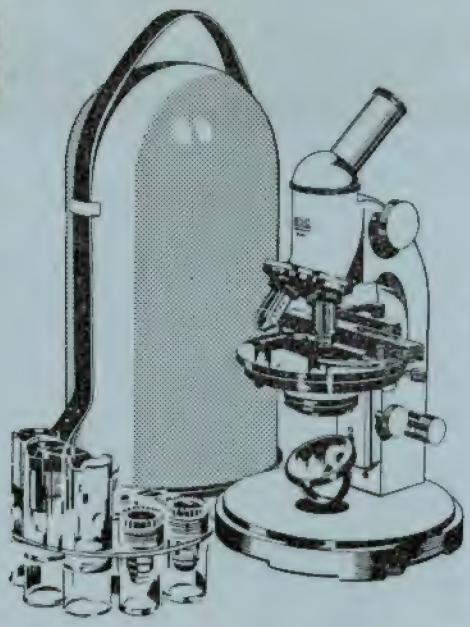
MICROSCÓPIOS

com equipamentos para todos
os trabalhos de microscopia

WILD
HEERBRUGG

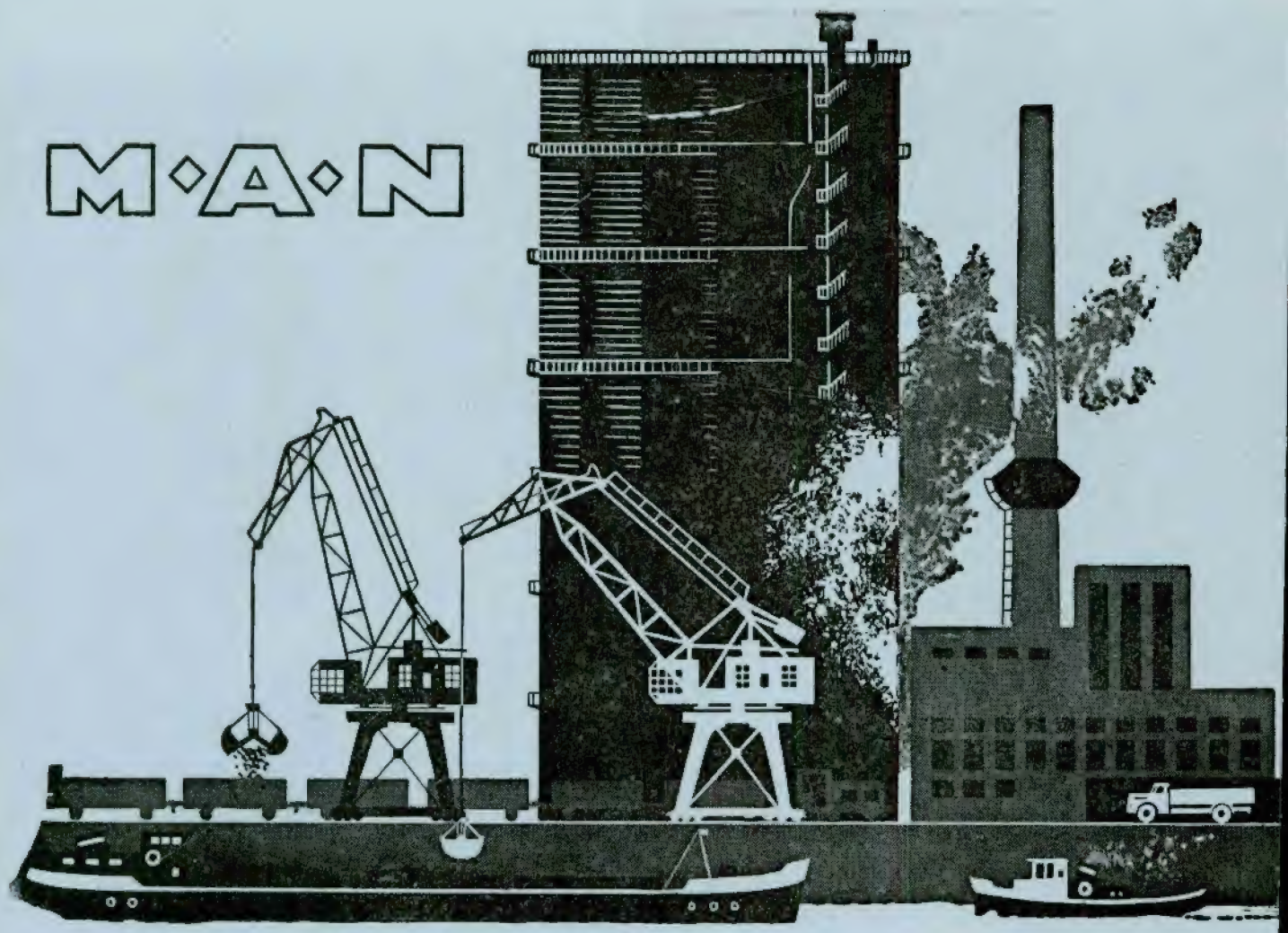


Estojos de desenho **Wild**
Únicos de aço crómio inoxidável



REPRESENTANTES EXCLUSIVOS

WILD PORTUGAL, LDA. PRAÇA DAS ÁGUAS LIVRES, 8 S/L 6
LISBOA — TELEF. 68 11 27



MASCHINENFABRIK AUGSBURG-NÜRNBERG A-G · WERK NÜRNBERG

INSTALAÇÃO DE FORÇA MOTRIZ A VAPOR · INSTALAÇÕES DE FORÇA MOTRIZ A GÁS · GUINDASTES E TRANSPORTADORES · MATERIAL CIRCULANTE FERROVIÁRIO · MÁQUINAS PARA ENSAIOS DE MATERIAIS · INSTALAÇÕES DE CONDICIONAMENTO DE AR · PONTES DE AÇO · INSTALAÇÕES HIDRÁULICAS DE AÇO · CONSTRUÇÕES METÁLICAS · BOMBAS · GASÓMETROS · CALDEIRAS A VAPOR CANALIZAÇÕES DE AÇO · MOTORES DIESEL TERRESTRES E MARÍTIMOS

REPRESENTAÇÃO GERAL PARA PORTUGAL E ULTRAMAR

INDUMA

MÁQUINAS INDUSTRIAIS LIMITADA
AVENIDA ANTÓNIO AUGUSTO DE AGUIAR, 88-3.° · LISBOA

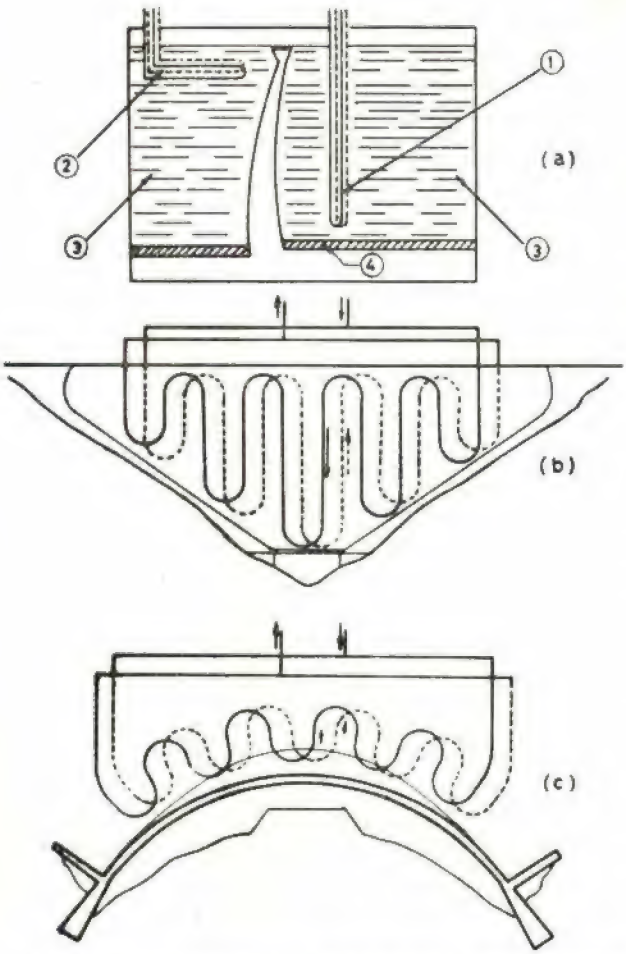


Fig. 1 — Esquema da circulação da água nas serpentinas

a) Corte

1. Serpentinas de jusante
2. Serpentinas de montante
3. Banho de óleo
4. Isolamento.

b) Esquema das serpentinas de jusante

c) Esquema das serpentinas de montante

pequeno quanto possível, de modo que a sua temperatura possa variar ràpidamente.

3. Deve-se dispor de um grande volume de água quente e fria, de maneira a manter a água de circulação a uma temperatura constante.

4. Deve ser colocada, no fundo do banho de óleo de montante, outra serpentina, além das previstas, na qual circule água fria, de modo a tornar a distribuição de temperaturas do lado de montante semelhante às do protótipo.

O sistema em que se utilizam lâmpadas de infra-vermelhos está sendo projectado. Para aquecer a superfície do modelo estão a ser consideradas lâmpadas tubulares de infra-vermelhos, com um elevado poder calorífico. Como se disse, o arrefecimento será obtido com uma corrente de ar frio.

7 — TÉCNICAS DE MEDIDA

As temperaturas nos modelos, tanto nos paramentos como no interior, são medidas com pares termoeléctricos de cobre-constantan, usando-se fios de diâmetro muito pequeno (0,2 mm). Contudo, está também a ser considerada a possibilidade de se utilizarem termómetros de resistência com enrolamentos muito pequenos, tal como estão a ser fabricados na Suécia (Instituto de Investigações Aeronáuticas). São usados aparelhos de registo para um certo número de termómetros de ambos os tipos; eles permitem registos contínuos ou separados em intervalos regulares.

A medição de temperaturas não apresenta nenhuma dificuldade especial. Os instrumentos devem ser fixados aos paramentos e a sua superfície deve ser pintada da mesma cor do modelo, de maneira a evitar perturbações devidas a diferenças na radiação. A colocação de pares termoeléctricos ou de termómetros de resistência, especialmente nos pontos do interior do modelo, deve ser feita de maneira a evitar a condução de calor, até ao ponto onde se faz a medida, através dos fios, o que alteraria as temperaturas a medir. Nos primeiros ensaios já efectuados, as leituras dos pares termoeléctricos foram feitas por meio de potenciómetros de precisão. A comutação de um par para outro foi feita manualmente.

A medição, nos modelos, das tensões devidas a variações de temperatura é muito mais difícil que a das temperaturas. Em virtude de não ser possível medir, directamente, tensões, serão medidas extensões. Isto exige que os materiais do modelo apresentem características elásticas constantes. Não são, pois, aconselháveis os materiais apresentando fluência ou variação do seu módulo de elasticidade com a tensão ou a temperatura.

Os extensómetros eléctricos vulgares apresentam, geralmente, uma grande variação da resistência com a temperatura, inconveniente que pode ser eliminado mediante o uso de dois métodos.

No primeiro, um extensómetro igual, montado num provete de material igual ao do modelo (extensómetro compensador) e mantido próximo

do ponto em observação do modelo de maneira a ter sempre uma temperatura igual à do extensómetro activo, servirá de quarto braço da ponte de Wheatstone. Assim se compensaria não só a variação de resistência do fio do extensómetro com a temperatura, mas também a livre dilatação do material do modelo. Este método não é considerado digno de confiança, pois é muito difícil satisfazer a condição de iguais temperaturas no ponto em observação e no provete onde o extensómetro compensador está montado, pois que a temperatura varia com o tempo.

k — a constante obtida no ensaio de calibração,
T — a temperatura no ponto sob medida,
T_0 — a temperatura do extensómetro de referência (constante).

As tensões serão então calculadas a partir das extensões ε entrando com os valores das constantes elásticas, E e ν.

Da expressão (1), é fácil ver que podem existir grandes erros quando ε' for da mesma ordem de grandeza de ε'', especialmente, se o erro na medida das temperaturas for grande.

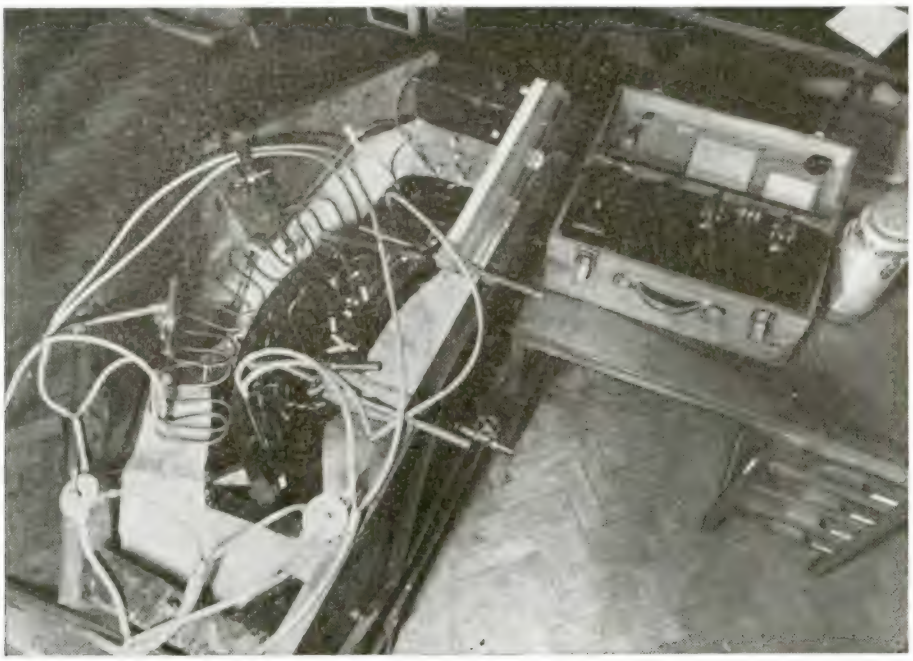


Fig. 2 — Ensaios preliminares da imposição de variações de temperatura num modelo.

Um outro método consistirá, primeiro, em calibrar os extensómetros montados em provetes livres do material do modelo, mantendo uma temperatura constante e submetendo o outro a ciclos de temperatura. Os ensaios serão depois levados a cabo usando, como extensómetro compensador, um extensómetro mantido sempre à mesma temperatura no ponto onde o extensómetro activo está montado e introduzindo a correcção indicada pelo ensaio de calibração. Quer dizer, a extensão será igual a:

$$\varepsilon = \varepsilon' - \varepsilon'' , \qquad (1)$$

onde:

ε' — é a extensão medida,
$\varepsilon'' = k\ (T - T_0)$,

Nos ensaios descritos no próximo artigo pode ver-se que as diferenças de extensões obtidas nas mesmas condições com extensómetros normais SR-4, tipos A-1 e A-5 não excedem 2×10^{-6} por °C de variação de temperatura. Quer dizer que aqueles extensómetros podem ser usados para medições de extensões devidas a temperaturas, se outros problemas não surgirem. Um desses problemas pode ser a confiança na colagem destes extensómetros quando a temperatura sobe. Realmente, já foi constatado que uma grande desvantagem dos modelos em «alkathene» reside no facto da colagem dos extensómetros normais neste material, não subsistir quando a temperatura sobe.

O uso de extensómetros especiais, compensados para temperaturas, em medidas de tensões de origem térmica tem grandes vantagens sobre os extensómetros vulgares. Os extensómetros especiais com compensação da temperatura anulam automàticamente a livre dilatação de origem térmica do corpo em estudo, medindo apenas a fracção da extensão devida à tensão, isto é, na equação (1) ε'' é tornado igual a zero. Os extensómetros especiais compensados Baldwin são fabricados para serem usados em metais com os seguintes coeficientes de dilatação linear: $23{,}2 \times 10^{-6}$, $11{,}7 \times 10^{-6}$, $9{,}0 \times 10^{-6}$ e $0{,}5 \times 10^{-6}$ por °C.

Quando o valor do coeficiente de dilatação linear do material em que as tensões de origem térmica são medidas é diferente daquele para o qual o extensómetro foi fabricado, torna-se necessária uma correcção semelhante à indicada para os extensómetros vulgares, isto é, a extensão é

$$\varepsilon = \varepsilon' - (\alpha - \alpha')\,(T - T_0),$$

onde:

ε' — é a extensão medida,

α — o coeficiente de dilatação linear do material do modelo,

α' — o mesmo coeficiente do material para o qual o extensómetro for feito,

T — a temperatura no ponto,

T_0 — a temperatura do extensómetro de referência

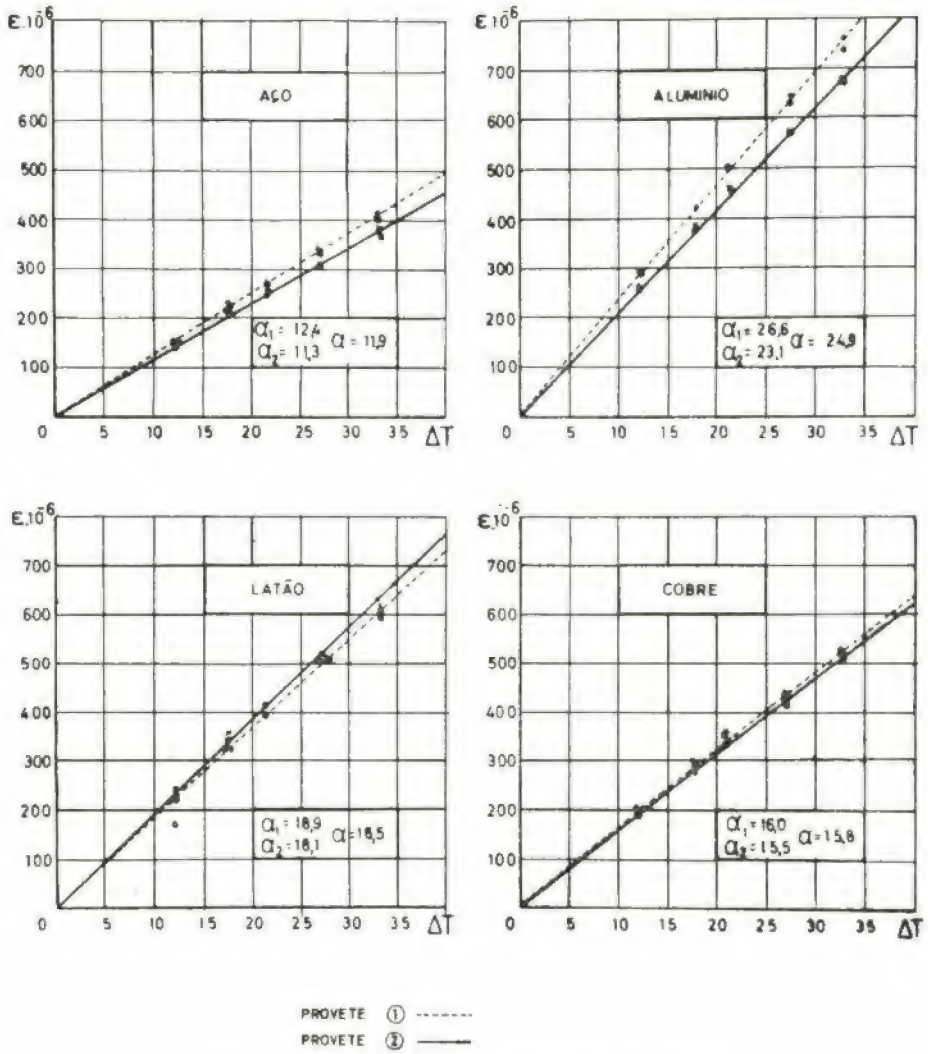
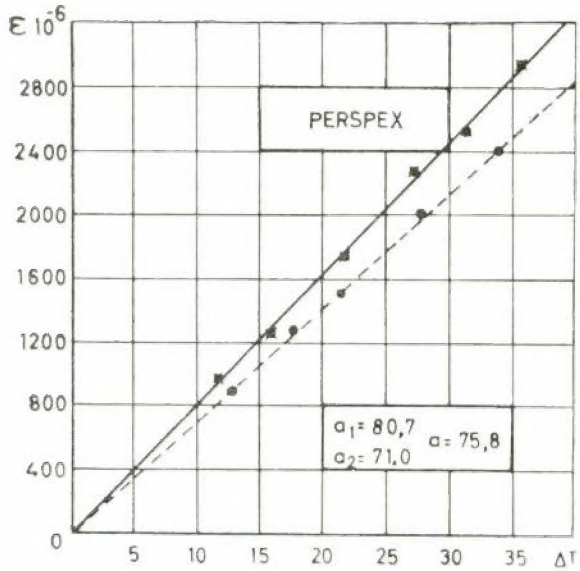


Fig. 3 — Ensaios de dilatação térmica de metais.



PROVETE ① -------
PROVETE ② ———

Fig. 4 – Ensaios de dilatação térmica de metais.

Note-se que, neste caso, deve ser usado um extensómetro compensador mantido a temperatura constante durante o ensaio, tal como quando se utilizam extensómetros vulgares.

Os extensómetros especiais Baldwin autocompensados são colados com uma cola de bakelite, que pode ser usada em metais e em betão. O seu uso em plásticos não é, em regra, possível. Nos ensaios já efectuados no LNEC, tem-se usado, com vantagem, uma cola epóxide («araldite» Ciba).

Dado que as condições variam ràpidamente, não é prático usar, na medição de extensões de origem térmica em modelos, os indicadores normais de extensões, tornando-se necessário usar aparelhos registadores. Nos estudos em curso são usados instrumentos registadores Brush e Honeywell.

8 — PROGRESSOS FEITOS NO ESTUDO

a) *Determinação do coeficiente de dilatação linear de vários materiais* — Um método bastante adequado para a determinação do coeficiente de dilatação

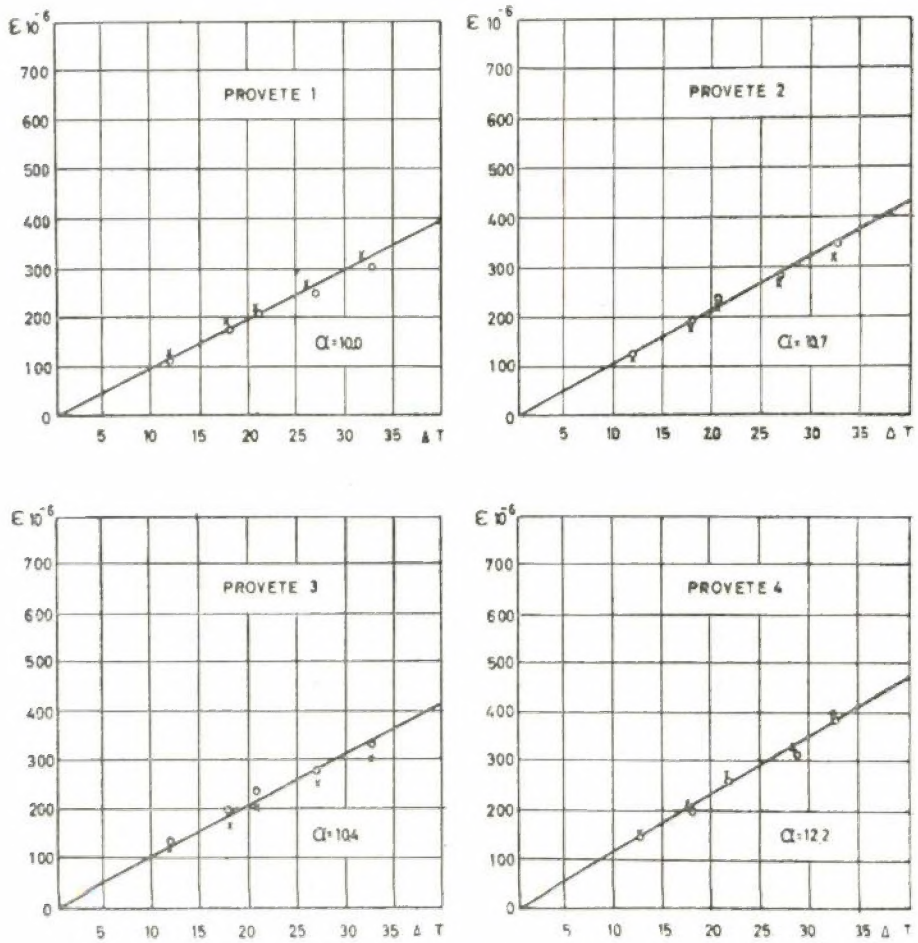


Fig. 5 — Ensaios de dilatação térmica em provetes de microbetão.

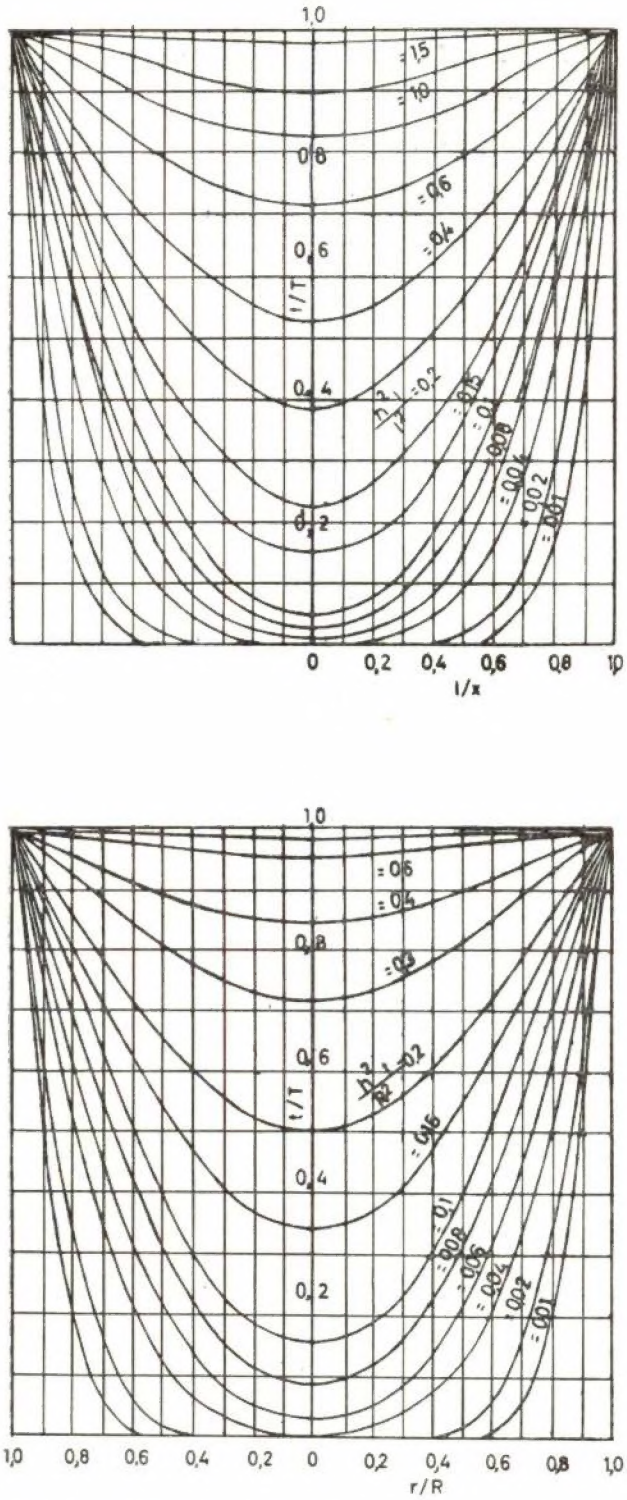


Fig. 6 — Diagramas teóricos de temperatura numa placa e num cilindro.

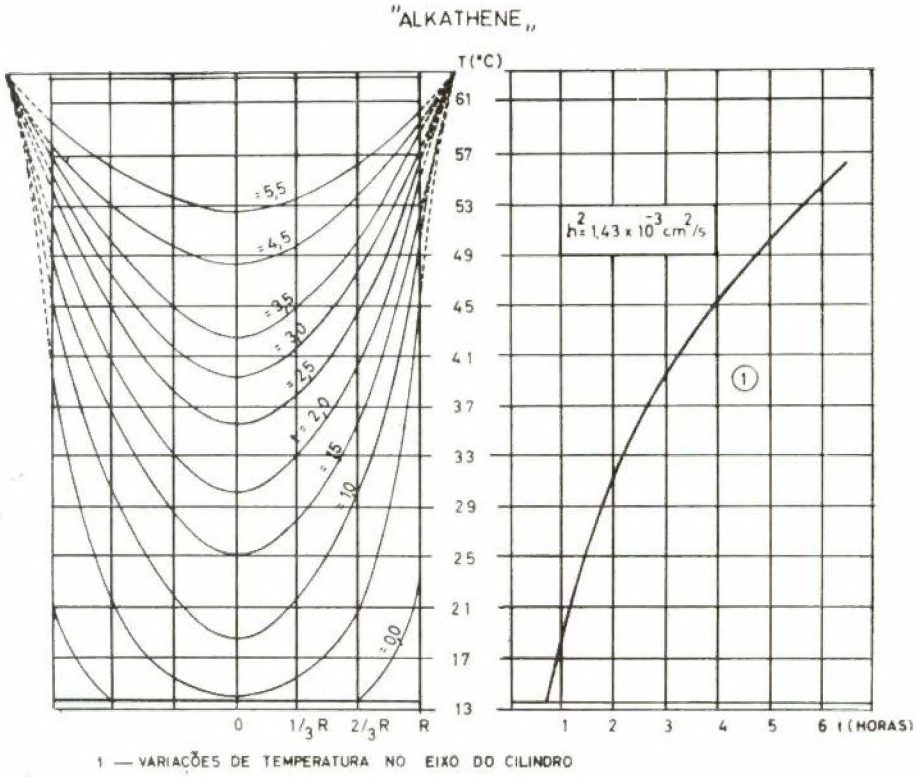
linear dos materiais, a utilizar na construção de modelos, baseia-se na utilização de extensómetros eléctricos. Esse método também permite tirar conclusões acerca do comportamento dos extensómetros e da sua colagem ao material quando submetido a variações de temperatura. O método consiste em colar dois extensómetros iguais, um num provete do material em ensaio, o outro num provete igual dum material padrão com um coeficiente de dilatação térmica bem conhecido. Nos ensaios levados a cabo foram usados, como materiais padrão, o cristal de quartzo cortado numa direcção paralela ao eixo ternário ($\alpha = 7{,}74 \times 10^{-6}/°C$) e o quartzo fundido ($\alpha = 0{,}54 \times 10^{-6}$).

A fig. 3 mostra os diagramas de extensões, devidas a variações de temperatura ΔT, obtidos nos ensaios de dois provetes de cada um dos seguintes metais: aço, alumínio, latão e cobre. Foram colocados dois extensómetros nas duas faces de cada provete. Estes diagramas mostram que as diferenças entre os pares de extensómetros nunca atingiram $2 \times 10^{-6}/°C$.

A fig. 4 mostra os diagramas obtidos sobre dois provetes de «perspex». Outros plásticos como o «alkathene» e o «palatal» foram também ensaiados, mas as curvas obtidas mostraram que estes materiais não são próprios para ensaios térmicos.

Na fig. 5 apresentam-se os diagramas obtidos sobre quatro provetes de um microbetão da mesma amassadura. Ensaios idênticos, levados a cabo com gesso e misturas de gesso e diatomite, mostraram um comportamento inconveniente destes materiais.

b) *Determinação da difusibilidade térmica de materiais para modelos* — Além da determinação da difusibilidade térmica (h^2) dos materiais dos modelos, obtida a partir do valor do coeficiente de condutibilidade térmica, determinado pelos métodos correntes, como o método da placa quente, e do calor específico, foi decidido determinar aquela constante térmica também a partir de medições de temperaturas em placas delgadas (espessura l) ou cilindros (raio R) submetidos a abaixamentos ou elevações instantâneas da temperatura exterior. Os diagramas de temperaturas obtidos para vários instantes (t), quando comparados com diagramas teóricos traçados em função de $\frac{h^2 t}{l^2}$ ou de $\frac{h^2 t}{R^2}$ (fig. 6), permitem a determinação de h^2. A fig. 7 mostra a distribuição das temperaturas observadas em cilindros de «perspex» ou «alkathene» e os valores da correspondente difusibilidade térmica obtida. Os



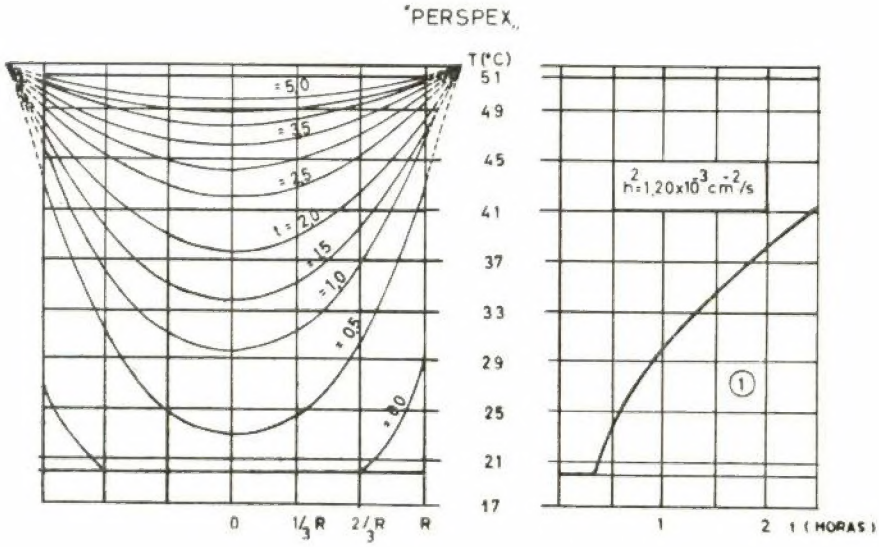


Fig. 7 — Diagramas de temperaturas medidas num cilindro em «perpex» e num outro em «alkathene» e determinação da sua difusibilidade térmica.

(1) Variação de temperatura no eixo do cilindro.

valores determinados são muito semelhantes aos fornecidos pelos fabricantes destes plásticos e estão indicados no Quadro I. Foi introduzida uma correcção nos valores do raio, de maneira a compensar a variação da temperatura superficial dos cilindros, a qual é suposta constante nos diagramas da fig. 6.

c) *Determinação de tensões de origem térmica em peças bi-metálicas* — Um caso muito simples de tensões devidas a variações de temperatura é o que se obtém em barras paralelas de dois metais diferentes com extremidades mantidas solidárias de maneira a conservarem o mesmo comprimento. Medindo temperaturas e extensões nas barras, é

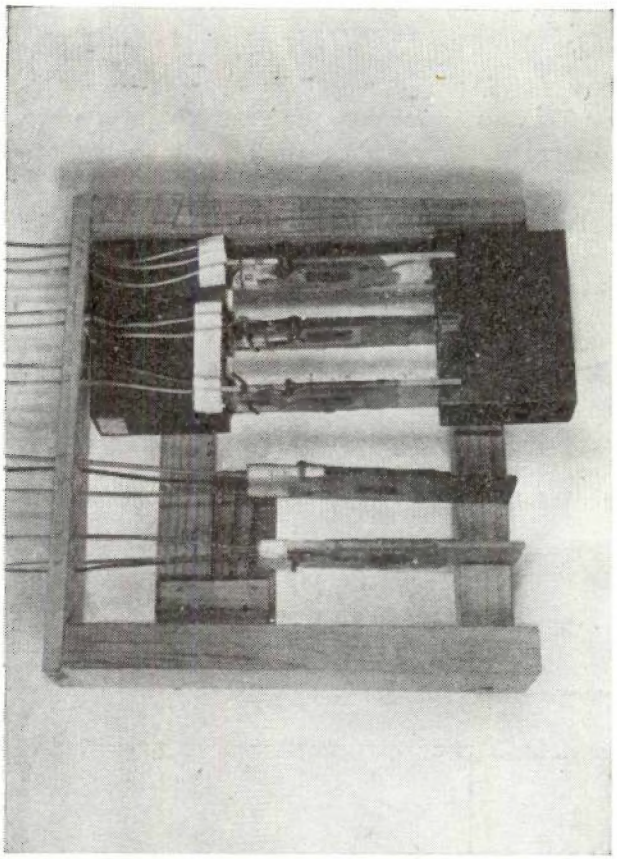


Fig. 8 — Ensaios de determinação de tensões de origem térmica em metais.

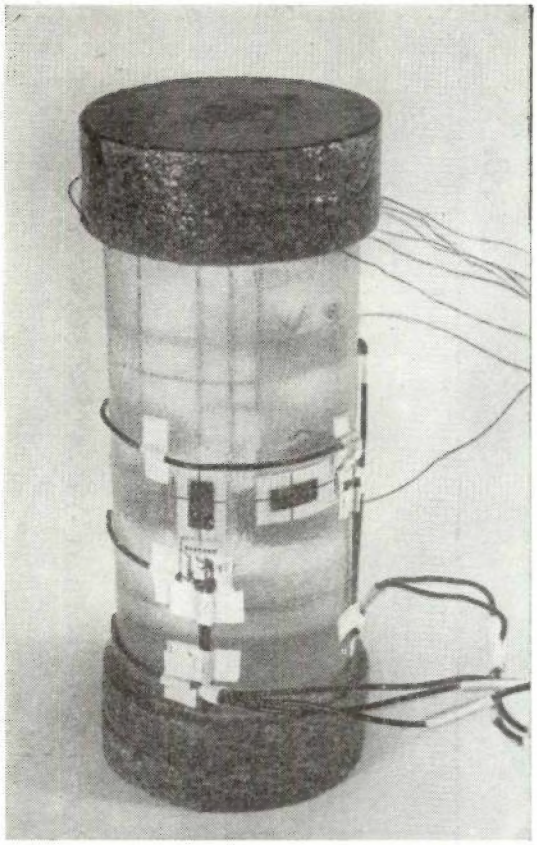


Fig. 9 — Cilindro de «perspex» para determinação de tensões de origem térmica.

possível determinar com exactidão as tensões, as quais podem ser comparadas com os valores calculados.

Usaram-se duas barras de alumínio ($\alpha = 25 \times 10^{-6}/^{\circ}C$) ligadas rìgidamente nas extremidades a uma barra de aço ($\alpha = 12 \times 10^{-6}$) com $0{,}3 \times 3 \times 10$ cm. Foram colados, em cada barra, dois extensómetros, sendo usados compensadores colados em barras livres dos mesmos materiais (fig. 8).

Realizaram-se vários ensaios, elevando a temperatura das peças até cerca de 20° C. Os valores médios de $\varepsilon = \varepsilon' - \varepsilon''$, para 1°C de variação de temperatura, observados nos ensaios em que se usaram dois extensómetros activos em cada

QUADRO III

	$\varepsilon - \alpha$ T, por ° centígrado			
	Valores obtidos nos ensaios			Valores calculados
	Extensómetro n.° 1	Extensómetro n.° 2	Média	
Alumínio (peça 1)	$-6{,}3 \times 10^{-6}$	$-6{,}2 \times 10^{-6}$	$-6{,}3 \times 10^{-6}$	$-6{,}7 \times 10^{-6}$
Aço	$+4{,}8 \times 10^{-6}$	$+3{,}6 \times 10^{-6}$	$+4{,}2 \times 10^{-6}$	$+4{,}8 \times 10^{-6}$
Alumínio (peça 2)	$-6{,}5 \times 10^{-6}$	$-6{,}0 \times 10^{-6}$	$-6{,}3 \times 10^{-6}$	$-6{,}7 \times 10^{-6}$